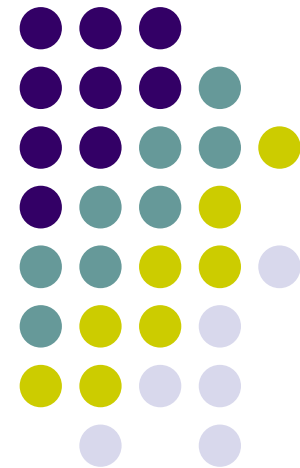


# PENCAHAYAAN (LIGHTING)



**S1 Teknik Informatika**



# Model Pencahayaan



- Tujuan pencahayaan dalam grafika komputer adalah untuk menghasilkan tampilan senyata mungkin
- Model pencahayaan secara matematika harus memenuhi:
  - Dapat menghasilkan efek cahaya yang sesungguhnya
  - Dapat dihitung dengan cepat

# Pencahayaan Global



- Model ini merupakan model matematika yang memperhitungkan pengaruh interaksi cahaya terhadap berbagai objek, seperti pantulan, serapan, penyebaran dan bayangan sebagai akibat cahaya yang dihalangi oleh objek tertentu
- Dikategorikan dalam 2 kelompok yaitu : ray-tracing dan radiocity

# Pencahayaan Global



- Ray-tracing memodelkan cahaya yang menyebar ke berbagai arah dan kemudian menghitung kuat cahaya pada saat cahaya tersebut mengenai mata
- Kuatnya cahaya yang diterima oleh mata ditentukan oleh permukaan benda tersebut
- Pada Radiocity, sembarang permukaan benda yang tidak berwarna hitam diasumsikan menjadi sumber cahaya

# Pencahayaan Global



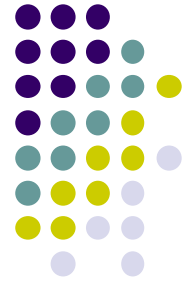
- Cahaya yang dikeluarkan oleh benda tersebut dipengaruhi oleh cahaya yang berasal dari sumber cahaya dan pantulan dari benda lain, dengan demikian setiap benda dipengaruhi oleh benda lain
- Timbul masalah, bagaimana menentukan warna benda yang dipengaruhi oleh warna benda lain yang juga ditentukan oleh benda lain dan kapan perhitungan tersebut dihentikan

# Pencahayaan Global



- Model ini membutuhkan waktu yang lama dan daya yang besar
- Menurut Tony DeRose dan Pixar, untuk menghasilkan satu frame dari film finding Nemo dibutuhkan 4 jam, sedangkan film The Incredibles dibutuhkan waktu 10 jam, padahal 1 detik film pada umumnya dibutuhkan 24-30 frame

# Model Pencahayaan Lokal

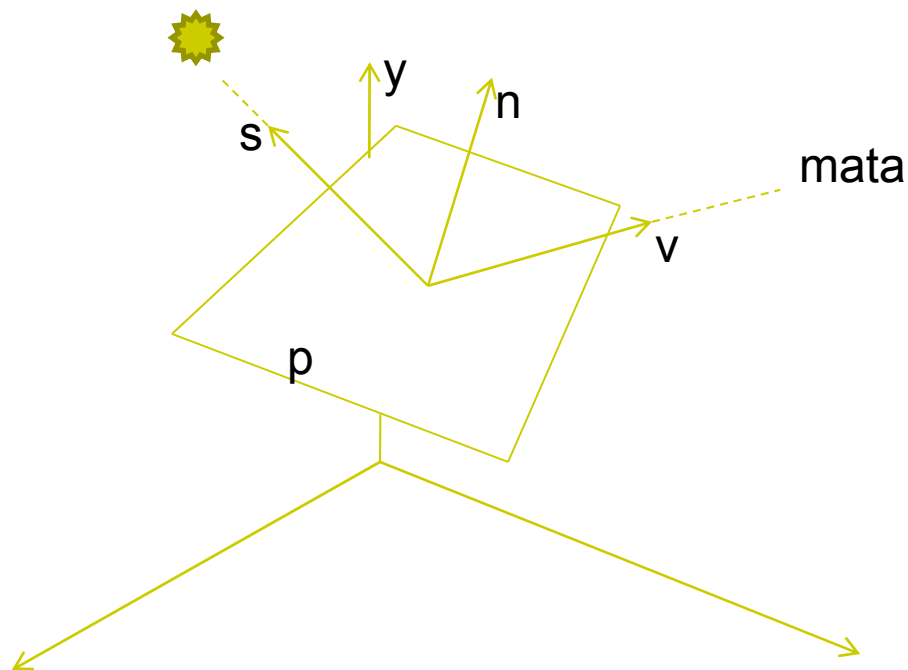


- Model ini membutuhkan :
  - Sifat materi penyusun benda
  - Sumber cahaya
  - Geometri permukaan benda
  - Posisi benda

# Sifat Materi Penyusun Benda



- Secara umum, cahaya yang menimpa sebuah permukaan akan dipantulkan oleh permukaan seperti gambar di bawah





# Sifat Materi Penyusun Benda



- Vektor  $s$  menunjukkan arah yang ditempuh oleh cahaya dari sumber cahaya menuju ke permukaan  $p$
- Vektor  $v$  menunjukkan arah pantulan cahaya dari permukaan  $p$  menuju ke mata
- Vektor  $n$  merupakan vektor normal dari permukaan  $p$
- Bergantung pada materi penyusun permukaan benda, maka ada tiga kemungkinan pantulan cahaya yaitu diffuse, specular dan translucent

# Sumber Cahaya



- Sumber cahaya pada grafika 3D merupakan sebuah objek yang penting, karena dengan cahaya ini sebuah *world* dapat terlihat dan dapat dilakukan proses *rendering*. Sumber cahaya ini juga membuat sebuah *world* menjadi lebih realistis dengan adanya bayangan dari objek-objek 3D yang ada

# Sumber Cahaya



- Semua sumber cahaya dimodelkan sebagai sumber titik yang dispesifikasikan dengan :

**Lokasi** → **Lokasi  $(x,y,z)$**  dari sebuah sumber cahaya akan menentukan pengaruhnya terhadap sebuah objek.

**Intensitas** → **Intensitas cahaya** menyatakan kekuatan cahaya yang dipancarkan oleh sebuah sumber cahaya. Parameter ini merupakan angka, yang biasanya makin besar nilainya, makin terang sumber cahaya tersebut.

# Sumber Cahaya



**Warna** → Warna cahaya dari sumber ini akan mempengaruhi warna dari sebuah objek, jadi selain warna objek tersebut warna cahaya yang jatuh pada objek tersebut akan mempengaruhi warna pada *rendering*. *Warna cahaya ini* biasanya terdiri dari 3 warna dasar grafika komputer, yaitu: merah, hijau, biru atau lebih dikenal dengan RGB.



# Model Sumber Cahaya

- Sebuah sumber cahaya memiliki jenis. Pada grafika 3D dikenal beberapa macam sumber cahaya, yaitu :
  - ***Ambient light***
  - ***Directional light***
  - ***Positional point***
  - ***Point light***
  - ***Spotlight***
  - ***Area light***

# Cahaya Ambient/Lingkungan



- Cahaya ini diterima dengan intensitas yang sama oleh setiap permukaan benda. Cahaya lingkungan tersebut dimodelkan mengikuti apa yang terjadi di alam, dimana dalam keadaan tanpa sumber cahaya sekalipun, benda masih dapat dilihat.
- Cahaya ini berasal dari semua benda yang memantulkan cahaya walaupun hanya sedikit
- Cahaya lingkungan tidak memiliki arah dan lokasi
- Pengaruh cahaya lingkungan dirumuskan dengan

$$I_{ab} = I_a r_a$$



# Directional Light Source

- Energi dari sumber cahaya tersebut menyebar ke semua arah dengan kekuatan yang sama.
- Karena energi dari sumber cahaya tersebut sangat kuat dan dapat menempuh jarak yang sangat jauh maka jarak dianggap tidak mempengaruhi kuat cahaya
- Contoh : Matahari



# Directional Light Source



- Sehingga **directional light** dapat bermakna memancarkan cahaya dengan intensitas sama ke suatu arah tertentu. Letak tidak mempengaruhi intensitas cahayanya. Tipe ini dapat menimbulkan efek seolah-olah sumber cahaya berada sangat jauh dari objek
- Arah dari permukaan ke sumber cahaya adalah penting dalam pencahayaan permukaan

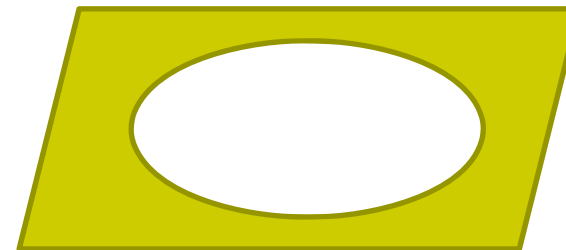
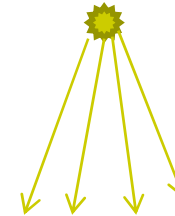
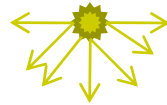




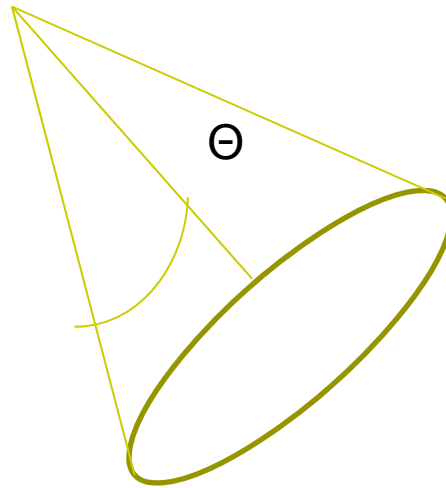
# Positional Light

- Mode ini memiliki sifat di mana energi dari sumber cahaya tersebut akan melemah sebanding dengan jarak dan sudut terhadap sumber cahaya
- Melemahnya kekuatan cahaya karena pengaruh jarak disebut sebagai attenuation
- Apabila cahaya yang keluar dari sumber cahaya positional dibatasi sudut penyebarannya, maka kita akan memperoleh efek lampu sorot

# Positional Light



# Positional Light



- Misalkan  $\Theta$  merupakan sudut kerucut penyebaran cahaya, maka kekuatan cahaya akan maksimum di titik tengah kerucut dan berangsur melemah menuju ke nol pada sudut  $\Theta$ . Sudut  $\Theta$  disebut sebagai *cut off angle*

# Point Light



- Sumber cahaya ini mempunyai lokasi dan arah
- Jarak antara sumber cahaya terhadap benda akan berpengaruh terhadap kekuatan cahaya yang diterima oleh benda
- Memancar ke segala arah, namun intensitas cahaya yang diterima objek bergantung dari posisi sumber cahaya. Tipe ini mirip seperti lampu pijar dalam dunia nyata.



# Point Light

- Arah ke cahaya dari suatu titik pada permukaan berbeda untuk titik yang berbeda:
- Jadi kita perlu menghitung vektor normal ke sumber cahaya untuk setiap titik yang kita terangi:

$$\vec{d} = \frac{\vec{p} - \vec{l}}{\|\vec{p} - \vec{l}\|}$$

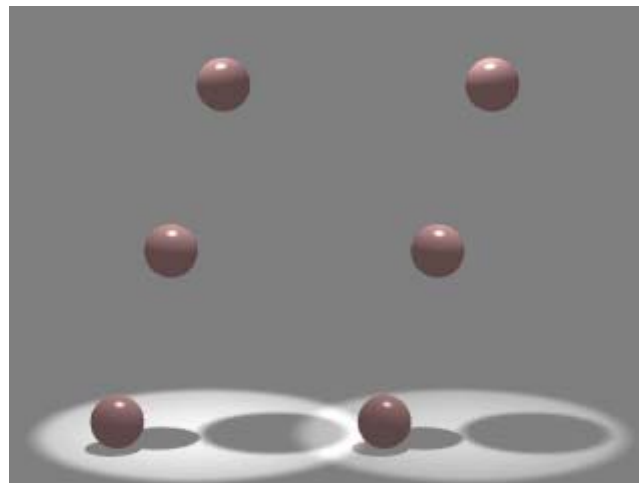




# Spotlight Source

- ***spotlight***

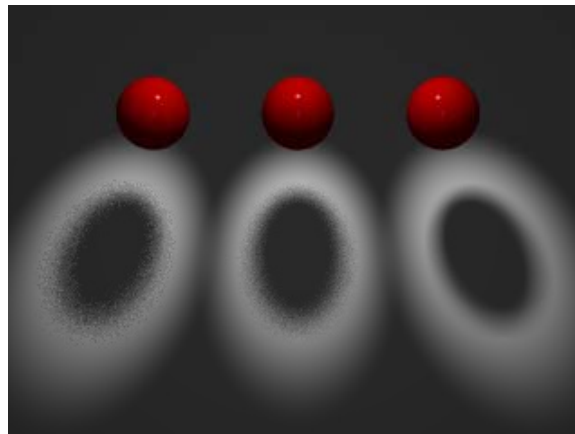
memancarkan cahaya ke daerah tertentu dalam bentuk kerucut. Sumber cahaya terletak pada puncak kerucut. Hanya objek-objek yang terletak pada daerah kerucut tersebut yang akan nampak.





# Area Light Source

- ***Area Light Source***, menentukan permukaan yang memancarkan 2-D (biasanya disk atau poligon)
- Contoh: panel lampu neon
- Mampu menghasilkan bayangan lembut



# Hukum Cosinus Lambert/ difusi



Refleksi permukaan difusi yang Ideal menurut hukum Cosinus Lambert:

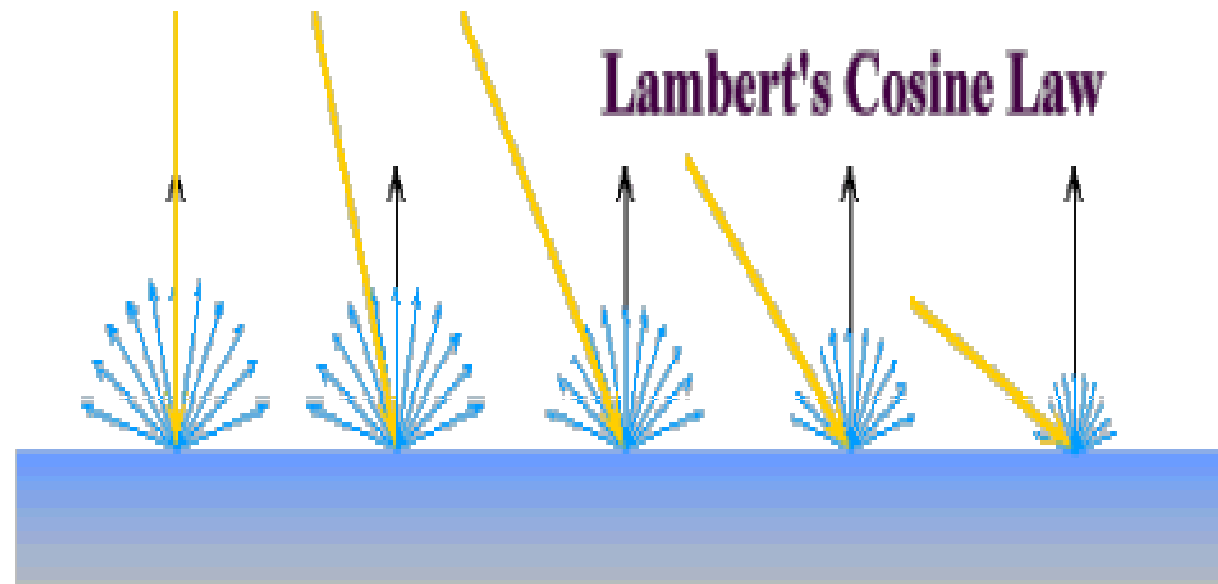
*Energi yang tercermin oleh sebagian kecil dari permukaan dari sumber cahaya dalam arah tertentu adalah sebanding dengan cosinus sudut antara arah tersebut dan permukaan normal*

Ini sering disebut *Lambertian surfaces*

Perhatikan bahwa intensitas tercermin tidak tergantung pada arah melihat, namun tidak tergantung pada orientasi permukaan berkenaan dengan sumber cahaya



# Hukum Lambert

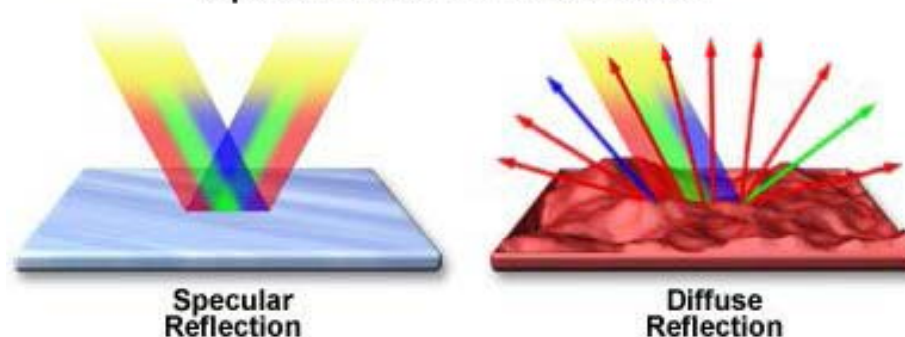




# Pantulan Diffuse

- Diffuse merupakan sifat permukaan di mana cahaya yang datang dipantulkan ke segala arah, benda-benda yang bersifat diffuse misalnya kayu, batu, kertas
- Karena cahaya dipantulkan ke segala arah, maka permukaan benda terlihat kasar

Specular and Diffuse Reflection





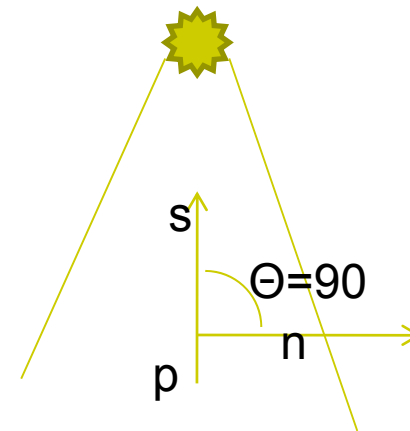
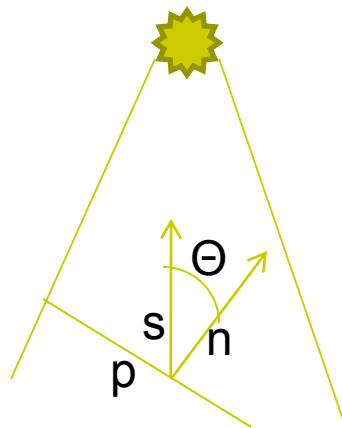
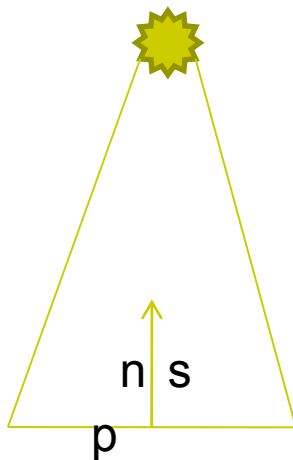
# Pantulan Diffuse

- Misalnya ada sejumlah cahaya menimpa permukaan  $P$ . Sebagian dari cahaya tersebut disebarkan ke semua arah dan sebagian menuju ke mata dengan kekuatan cahaya  $I_d$
- Mengingat bahwa cahaya disebarkan ke semua arah, maka orientasi permukaan  $P$  terhadap mata tidak terlalu penting, sehingga  $I_d$  tidak tergantung pada sudut antara vektor  $v$  dengan  $n$  tetapi pada vektor  $n$  dan  $s$



# Pantulan Diffuse

- Banyaknya cahaya menyinari permukaan P tergantung pada orientasi relatif permukaan P pada sumber cahaya, dan ini berarti kekuatan cahaya  $I_d$  akan sebanding dengan luas permukaan yang disinari





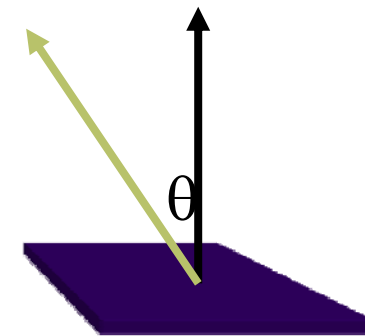
# Pantulan Diffuse

- Pada Gambar pertama, vektor  $n$  searah dengan vektor  $s$  sehingga sudut antara  $n$  dan  $s=0$
- Pada Gambar 2, vektor  $n$  dan  $s$  mempunyai sudut sebesar  $\Theta$ , sehingga luas permukaan yang disinari akan berkurang sebesar  $\cos(\Theta)$ , sehingga kecerahan juga akan berkurang sebesar  $\cos(\Theta)$ .

# Pantulan Diffuse



- Hubungan kecerahan dengan orientasi permukaan dikenal dengan Hukum Lambert
- Apabila  $\Theta=0$ , maka kecerahan tidak tergantung pada orientasi permukaan. Tetapi  $\Theta$  semakin menuju 90 maka kecerahan semakin menuju 0
- Sudut antara permukaan normal dan cahaya yang masuk adalah sudut kejadian:



$$I_{diffuse} = k_d I_{light} \cos \theta$$



# Menghitung Refleksi Diffuse

- Dalam prakteknya kita menggunakan aritmatika vektor:

$$I_{diffuse} = k_d I_{light} (\mathbf{n} \cdot \mathbf{l})$$

- Sebuah bola Lambertian dilihat di beberapa sudut pencahayaan yang berbeda:





# Pantulan Diffuse

- $\cos(\Theta)$  dapat diperoleh melalui dot product vektor  $s$  dan vektor  $n$  yang sudah dinormalisasi . Dengan demikian kekuatan cahaya yang dihasilkan yaitu

$$I_d = I_s r_d (u_s \cdot u_n)$$

- $I_s$  merupakan kekuatan cahaya di sumber cahaya dan  $r_d$  merupakan koefisien pantulan diffuse dari materi permukaan dan ditentukan oleh berbagai faktor seperti panjang gelombang dari cahaya, dan berbagai karakteristik fisika materi



# Pantulan Specular

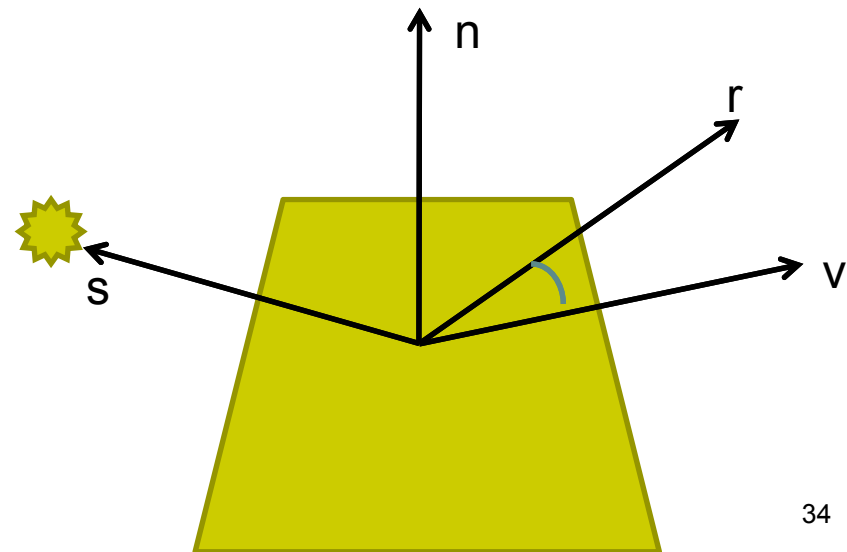
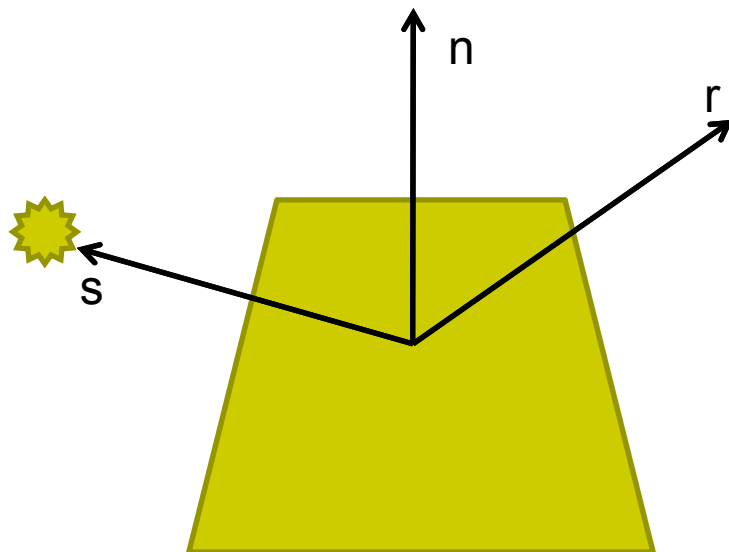


- Meskipun cahaya dipantulkan ke berbagai arah, tetapi ada beberapa benda yang memantulkan cahaya lebih banyak pada arah tertentu, misalnya cermin, plastik
- Kekuatan cahaya pada arah tertentu dibandingkan dengan arah lain, membuat kita memperoleh kesan bercahaya (highlight)



# Pantulan Specular

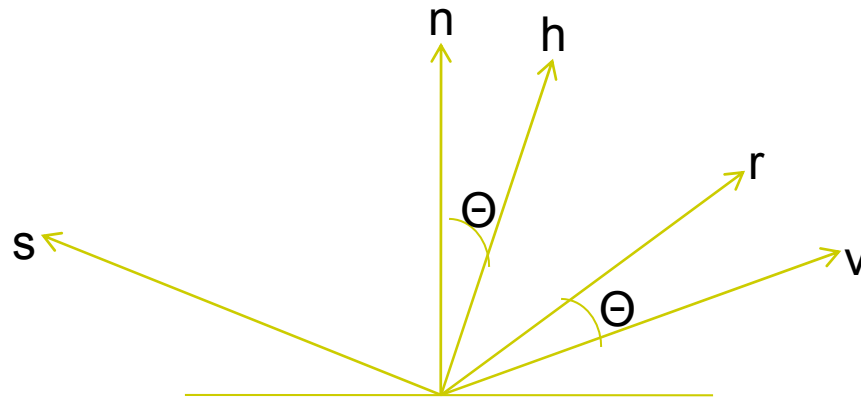
- Untuk permukaan berupa cermin, maka seluruh cahaya akan dipantulkan ke satu arah yang sama yaitu arah  $r$ , tetapi permukaan yang tidak terlalu bersifat cermin maka pantulan cahaya akan memudar dengan cepat seiring bertambahnya sudut antara  $r$  dan  $v$





# Pantulan Specular

- Vektor  $r$  diperoleh dengan pendekatan halfway yaitu vektor yang terletak di tengah antara vektor  $s$  dan  $r$





# Pantulan Specular

- Vektor halfway dapat dihitung sebagai

$$h = \frac{v + s}{|v + s|}$$

- Sehingga  $\cos(\Theta)$  dapat dihitung sebagai dot product dari vektor  $n$  dan  $h$ , sehingga
  - $I_{sp} = I_s r_s (u_n \cdot u_h)^f$

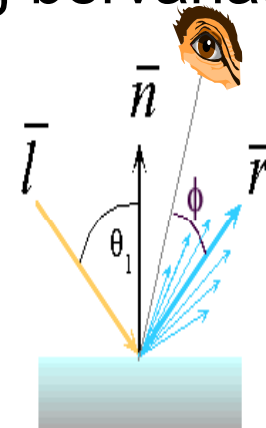


# Phong Lighting

- Phong merupakan model standar yang digunakan untuk menyatakan optical view pada grafika komputer. Model Phong dinyatakan dengan:

$$I_{specular} = k_s I_{light} (\cos \phi)^{n_{shiny}}$$

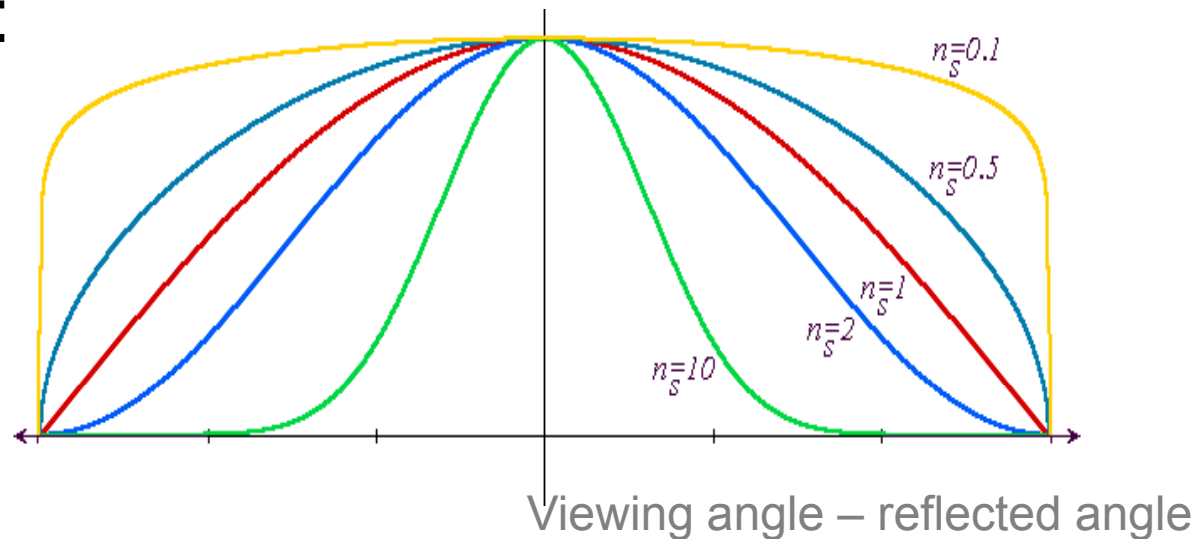
- Istilah  $n_{shiny}$  adalah murni empiris konstan yang bervariasi tingkat jatuhnya
- Meskipun model ini tidak memiliki dasar fisik, dalam prakteknya ia dapat bekerja





# Phong Lighting: Istilah $n_{shiny}$

- Diagram ini menunjukkan bagaimana istilah reflektansi Phong terbagi dengan perbedaan dari sudut pandang dari refleksi cahaya yang ideal :



# Menghitung Pencahayaan Phong

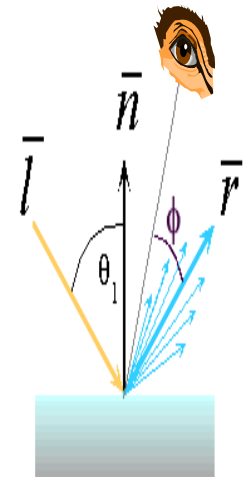


- Istilah  $\cos$  pencahayaan specular Phong bisa diganti dengan menggunakan hubungan berikut.

$$I_{\text{specular}} = k_s I_{\text{light}} (\vec{v} \cdot \vec{r})^{n_{\text{shiny}}}$$

- $V$  adalah vektor satuan ke arah yg melihat
- $R$  adalah arah reflektansi yang ideal
- Apakah kita dapat menghitung  $r$  secara efisien?

$$\vec{r} = \left( 2(\vec{n} \cdot \vec{l}) \right) \vec{n} - \vec{l}$$





# Menghitung $R$ Vector

$$\bar{r} = \left( 2(\bar{n} \cdot \bar{l}) \right) \bar{n} - \bar{l}$$

- Hal ini digambarkan di bawah ini:

$$\bar{r} + \bar{l} = \left( 2(\bar{n} \cdot \bar{l}) \right) \bar{n}$$

