RAY-TRACING
dan
RADIOSITY

Review : 3D Photorealism

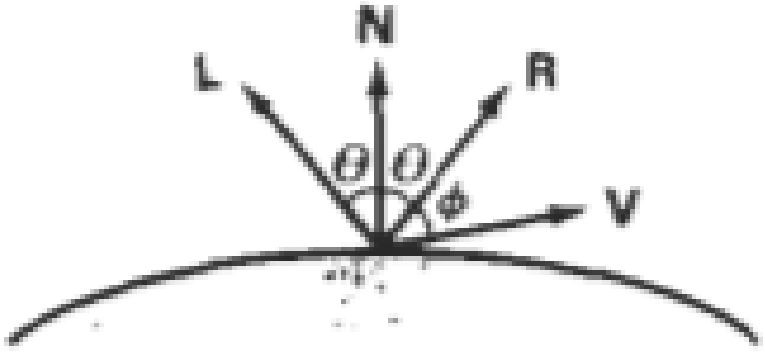
- Ketepatan pemodelan objek
- Proyeksi secara perspektif
- Efek pencahayaan yang natural kepada permukaan tampak: pantulan, transparansi, tekstur, dan bayangan

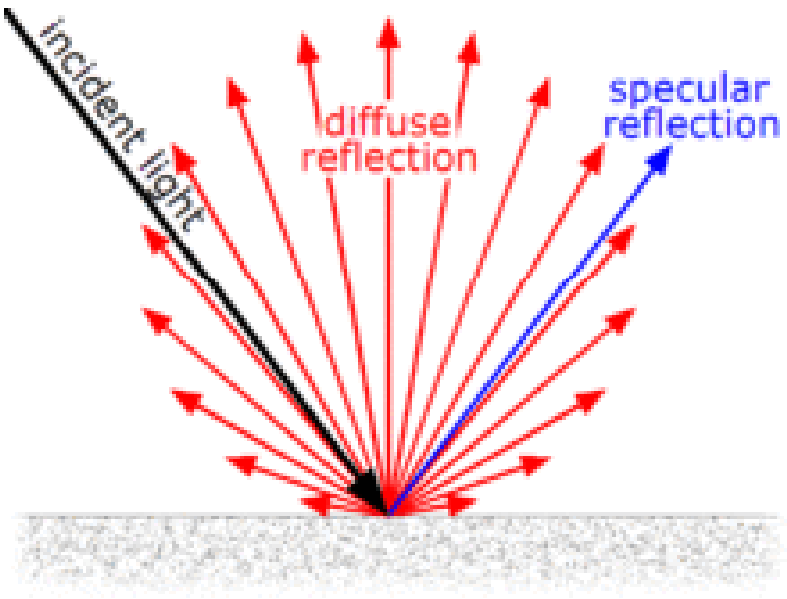
Review : Illumination model vs surface rendering

- Model pencahayaan: model untuk menghitung intensitas cahaya pada satu titik pada suatu permukaan
- Rendering permukaan: prosedur yang menerapkan model pencahayaan untuk mendapatkan intensitas semua titik pada seluruh permukaan tampak

Review : Model Pencahayaan

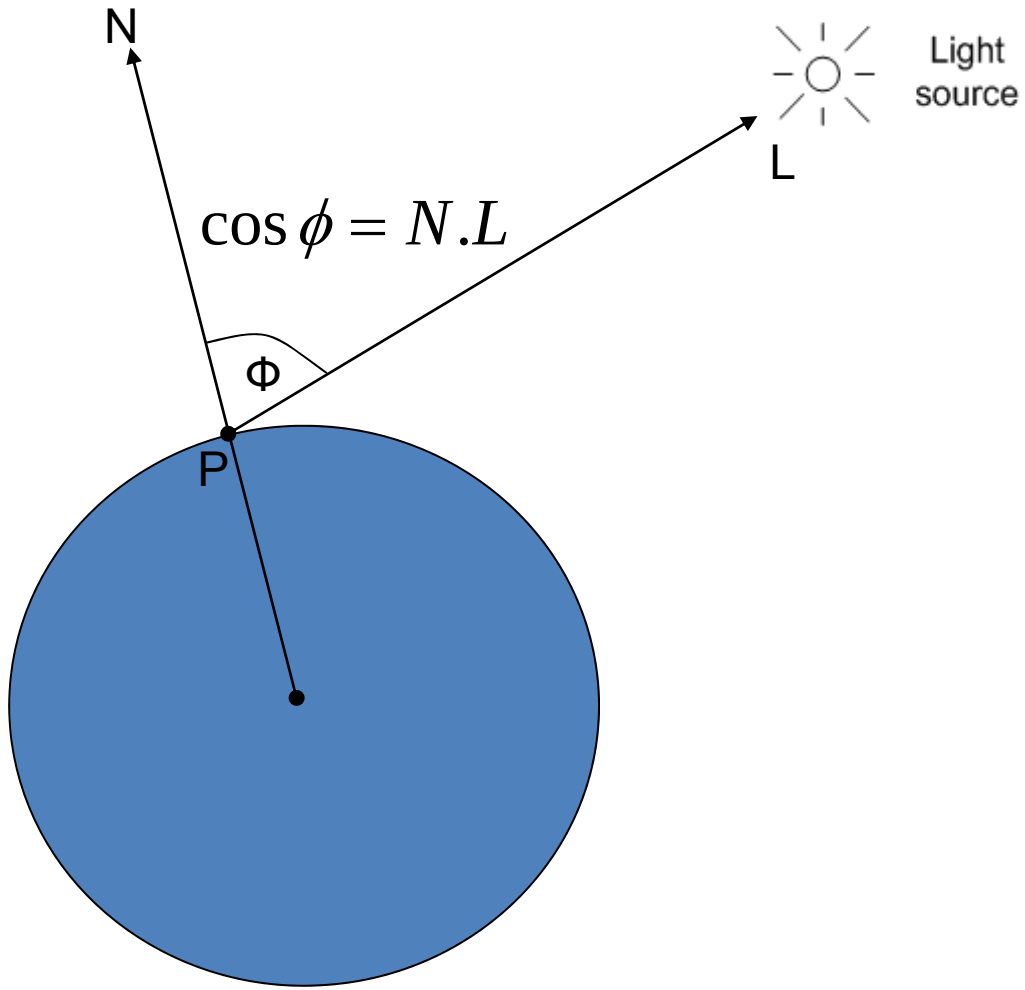
- Metoda untuk menghitung intensitas cahaya:
  - Ambient
  - Diffuse
  - Specular





http://en.wikipedia.org/wiki/Diffuse_reflection

Review : Model Pencahayaan



$$L = (Lx\ Ly\ Lz)$$

$$Lx = \frac{(X_L - X_P)}{|L|}$$

$$Ly = \frac{(Y_L - Y_P)}{|L|}$$

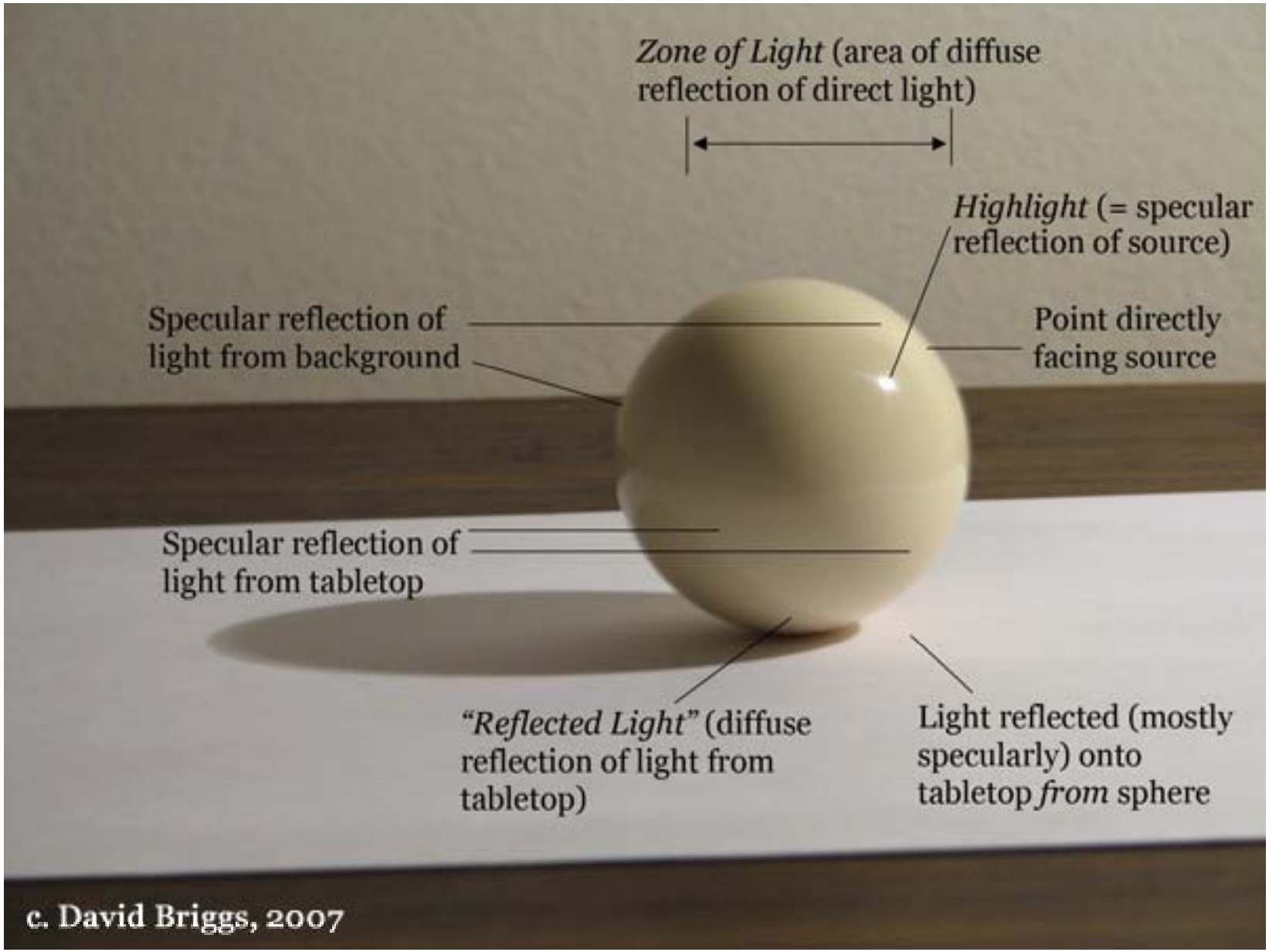
$$Lz = \frac{(Z_L - Z_P)}{|L|}$$

$$Ia = (Wa + Wd).Ka$$

$$Id = Wd.Kd.\frac{dist.\cos\phi}{\sqrt{dist}}$$

$$Is = Ws.\frac{dist.(\cos\phi)^{Ks}}{\sqrt{dist}}$$

$$I_{total} = Ia + Id + Is$$



http://www.huevaluechroma.com

Review : Teknik Rendering Permukaan (Poligon)

- Melakukan perhitungan dengan model pencahayaan untuk semua titik yg tampak
  - Ray-tracing
- Melakukan interpolasi untuk titik-titik pada permukaan dari sekumpulan intensitas hasil perhitungan dengan model pencahayaan
  - Scan-line

Review : Scan-line algorithms

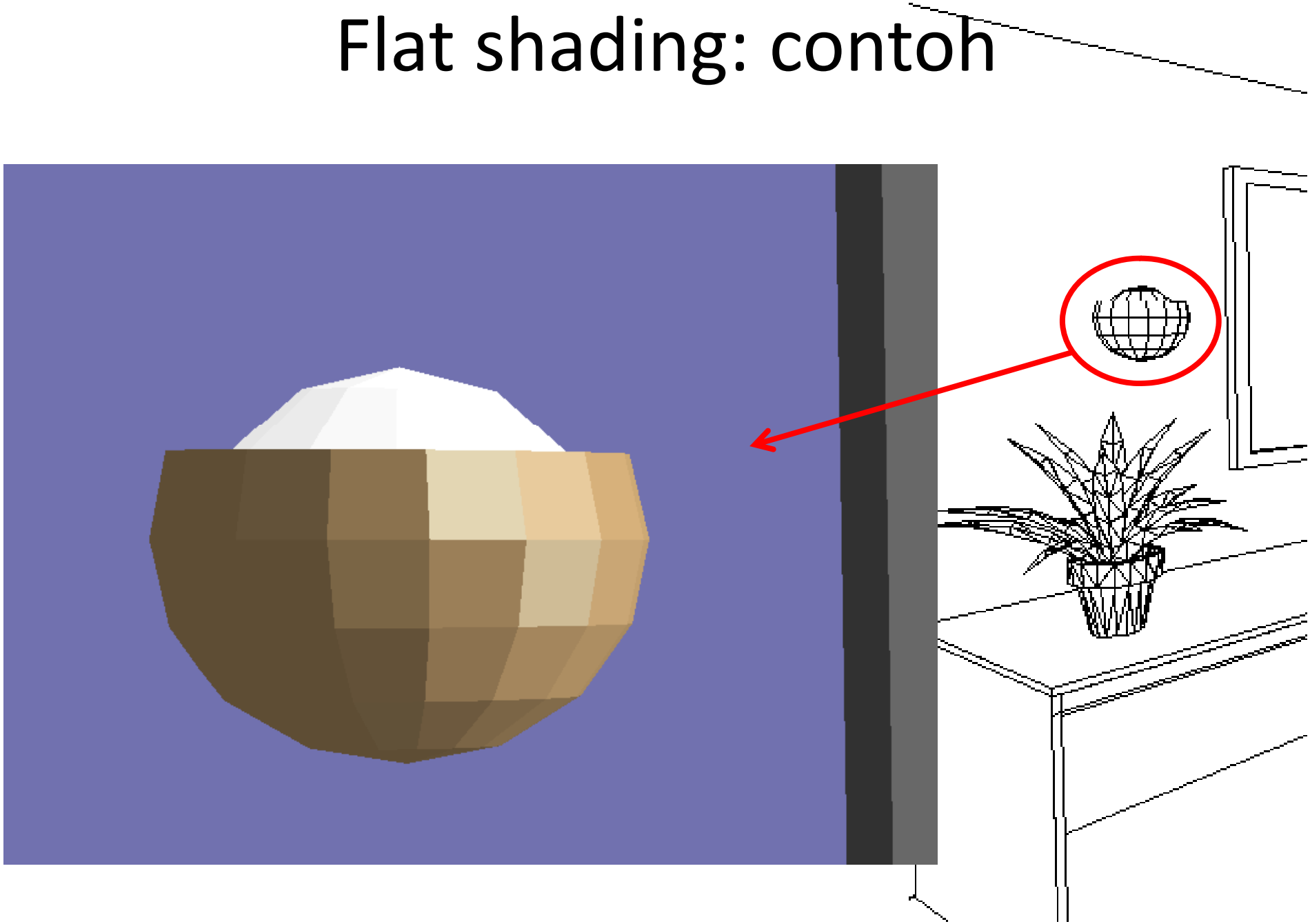
- Permukaan = poligon
- Aplikasi model pencahayaan:
  - Perhitungan intensitas tunggal untuk masing-masing poligon
  - Intensitas tiap titik pada poligon didapat dengan cara interpolasi
- Algoritma:
  - Flat (constant-intensity) shading
  - Gouraud shading
  - Phong shading

Review : Flat shading

- Intensitas tunggal untuk setiap poligon
  - Semua titik dalam poligon ditampilkan dengan intensitas yang sama
- Sering digunakan untuk mendapat tampilan cepat dari objek
- Akurat dengan asumsi:
  - Objek = polihedron (bukan aproksimasi kurva)
  - Sumber cahaya cukup jauh (N.L konstan)
  - Pengamat cukup jauh (V.R konstan)

➢ Bisa disiasati dengan memperkecil poligon facet

Flat shading: contoh



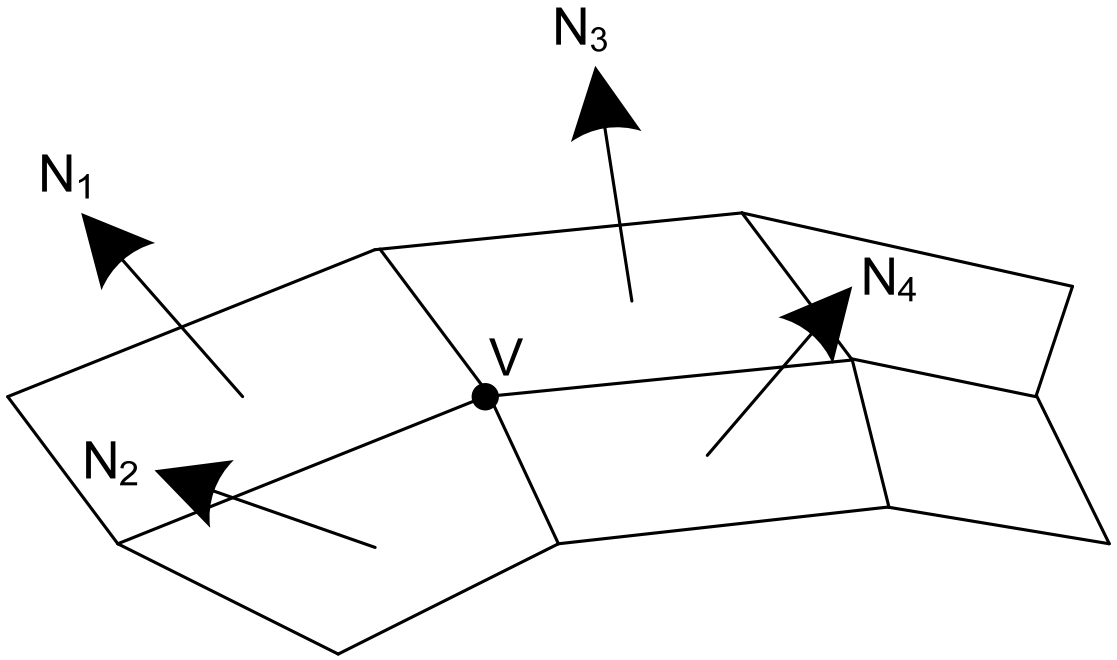
Review : Gouraud shading

- Rendering poligon dengan interpolasi linear terhadap nilai-nilai intensitas vertex (titik sudut poligon)
- Nilai intensitas untuk tiap poligon disesuaikan dengan poligon lain yang bersebelahan untuk mengurangi discontinuity (seperti yg terjadi pada flat shading)

Review : Langkah-langkah Gouraud shading

- Tentukan vektor normal satuan rata-rata untuk setiap vertex pada poligon
- Terapkan model pencahayaan ke tiap vertex untuk mendapatkan intensitasnya
- Lakukan **interpolasi linear** terhadap **intensitas** vertex untuk mendapatkan intensitas titik-titik lain pada poligon.

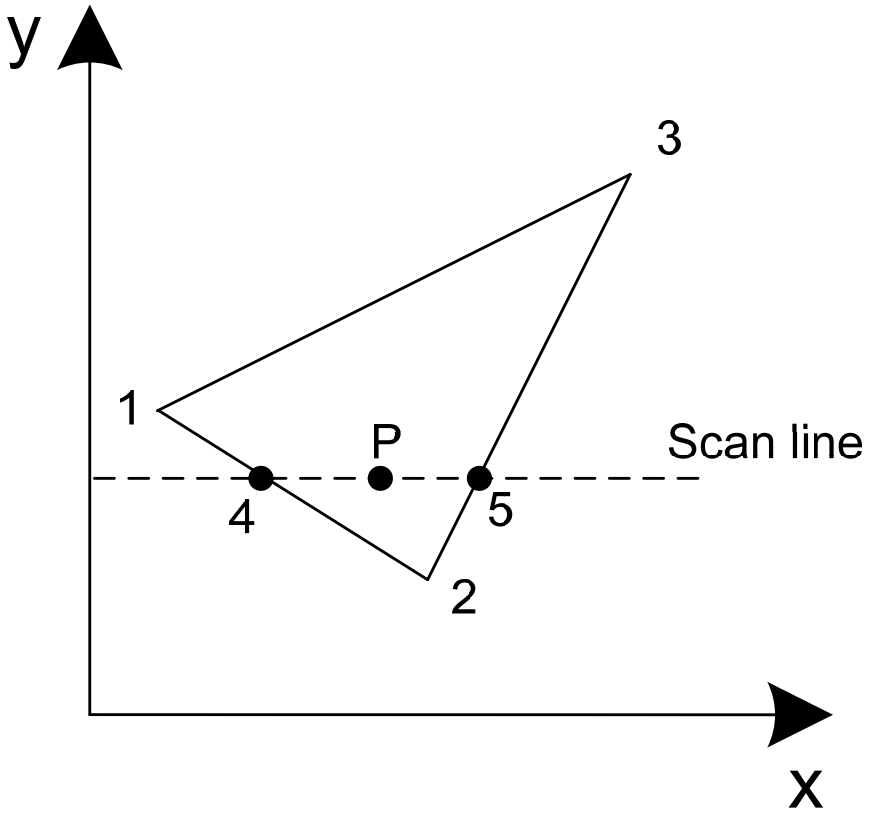
1) Vektor normal untuk vertex V



$$N_v = \frac{\sum_{k=1}^{n} N_k}{\left| \sum_{k=1}^{n} N_k \right|}$$

- Setelah mendapatkan vektor normal pada vektor V, dengan model pencahayaan bisa didapat intensitas untuk titik tersebut

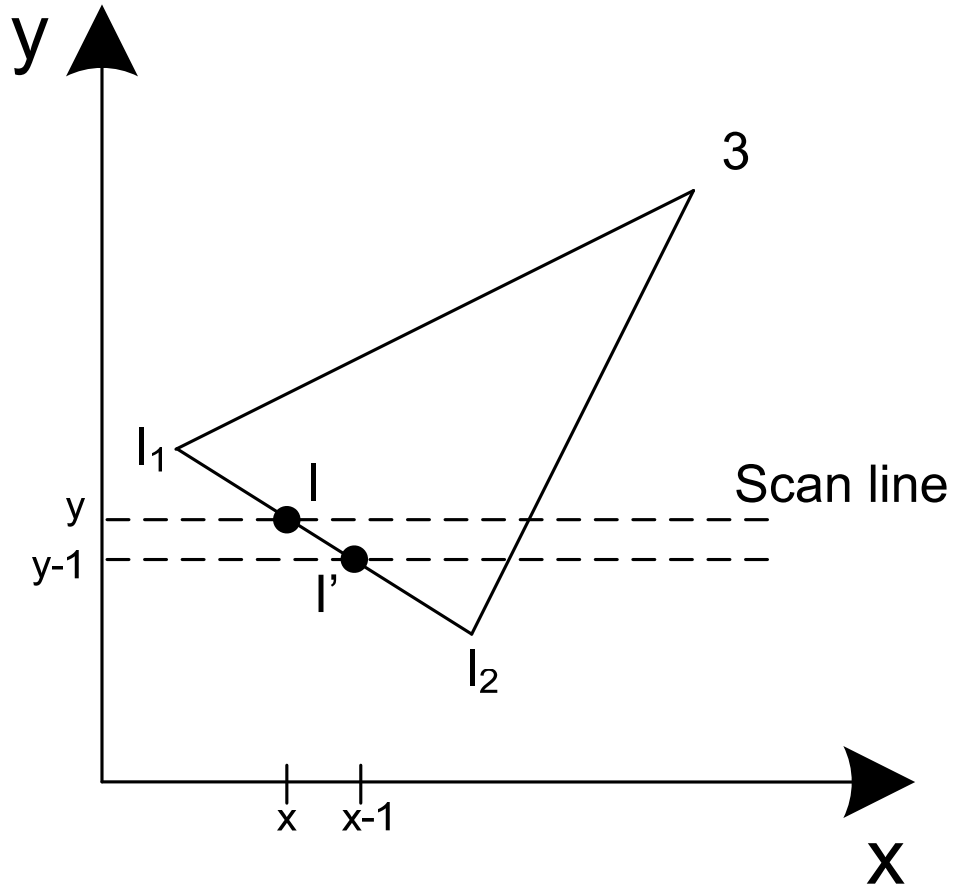
2) Interpolasi intensitas



$$I_4 = \frac{y_4 - y_2}{y_1 - y_2} I_1 + \frac{y_1 - y_4}{y_1 - y_2} I_2$$

$$I_P = \frac{x_5 - x_P}{x_5 - x_4} I_4 + \frac{x_P - x_4}{x_5 - x_4} I_5$$

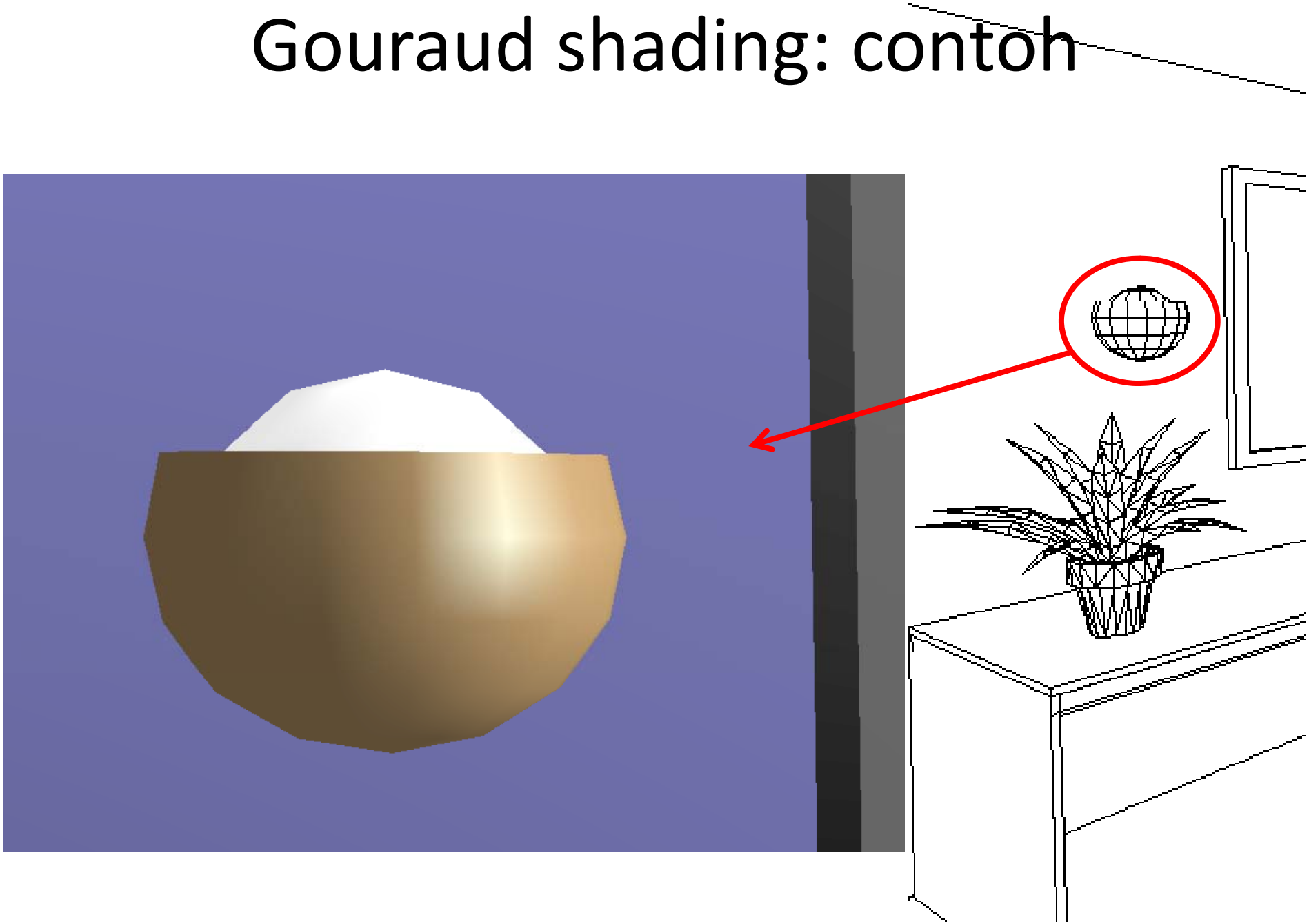
Interpolasi secara inkremental



$$I = \frac{y - y_2}{y_1 - y_2} I_1 + \frac{y_1 - y}{y_1 - y_2} I_2$$

$$I' = I + \frac{I_2 - I_1}{y_1 - y_2}$$

Gouraud shading: contoh



Kekurangan Gouraud

- Tampilan *highlight* tidak sempurna
- Mach band: garis terang atau gelap muncul pada permukaan
  - Akibat penggunaan interpolasi linear

➢ Untuk mengurangi efek tersebut:
  - ➢ Perkecil ukuran poligon
  - ➢ Gunakan metode lain (misal: Phong)

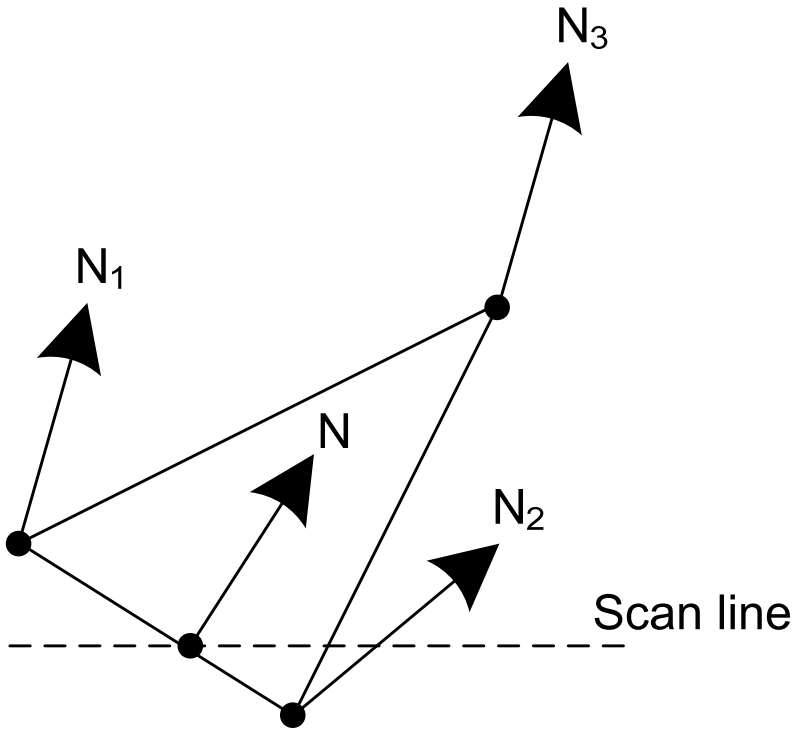
Review : Phong shading

- Interpolasi terhadap vektor normal
- Model pencahayaan diterapkan pada semua titik pada permukaan
- Memberikan *highlight* yang lebih realistik dan mereduksi efek Mach-band

Langkah-langkah Phong

- Tentukan vektor normal satuan rata-rata untuk setiap vertex pada poligon
- Lakukan **interpolasi linear** terhadap **vektor normal** ke seluruh permukaan poligon
- Terapkan model pencahayaan sepanjang scan line untuk mendapatkan intensitas setiap titik pada permukaan

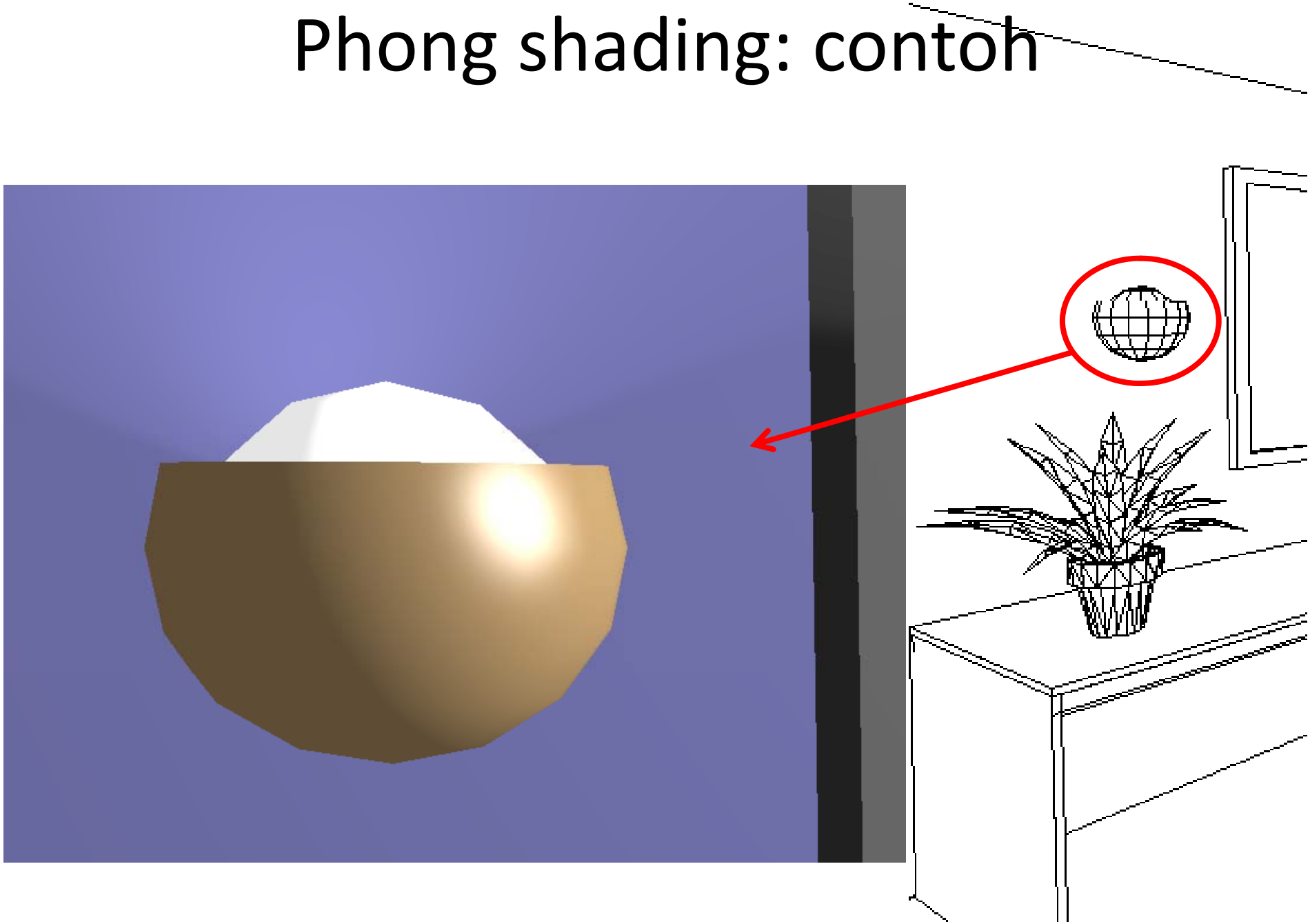
Interpolasi vektor normal



$$N = \frac{y - y_2}{y_1 - y_2} N_1 + \frac{y_1 - y}{y_1 - y_2} N_2$$

- Untuk mendapatkan vektor-vektor normal antar scan line dan sepanjang scan line digunakan metode inkremental

Phong shading: contoh

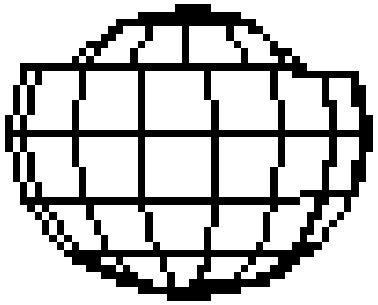


Evaluasi Phong

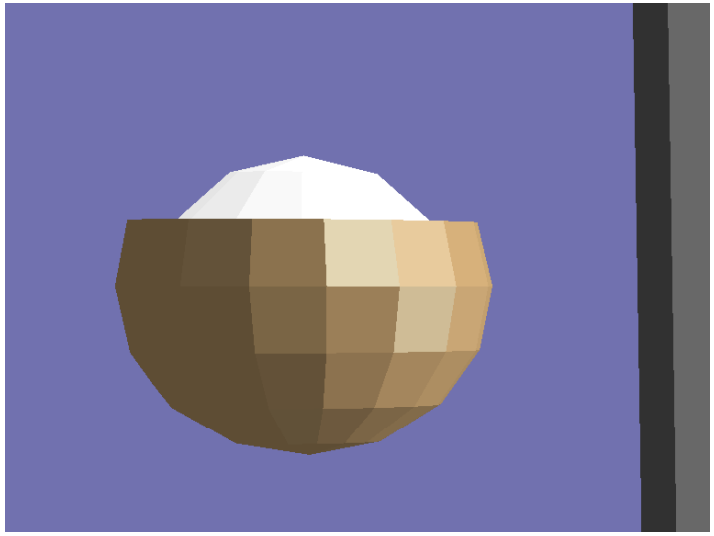
- Hasil lebih akurat
  - Interpolasi vektor normal
  - Model pencahayaan diterapkan pada tiap titik
- Trade-off: butuh ‘biaya’ komputasi yang lebih besar

➢ Fast Phong Shading:

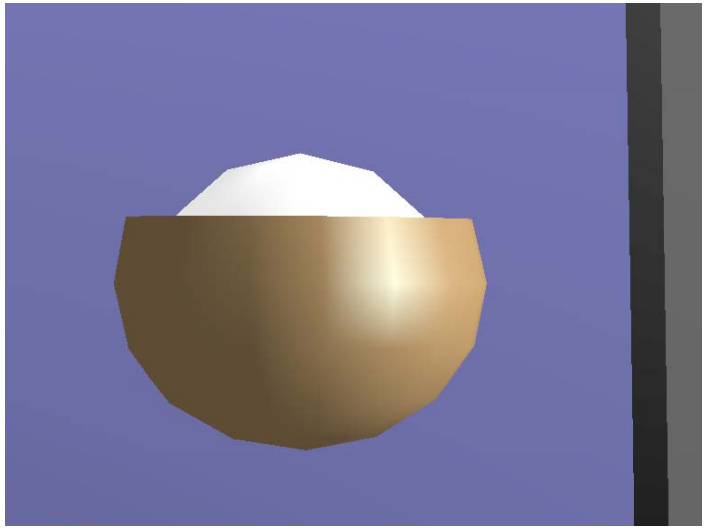
- ➢ aproksimasi intensitas dengan perluasan deret Taylor
- ➢ permukaan dengan patch berbentuk segitiga



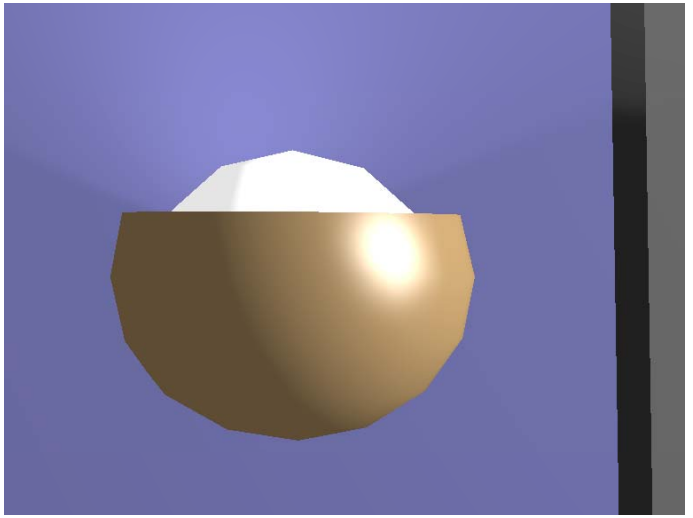
wireframe



Flat shading

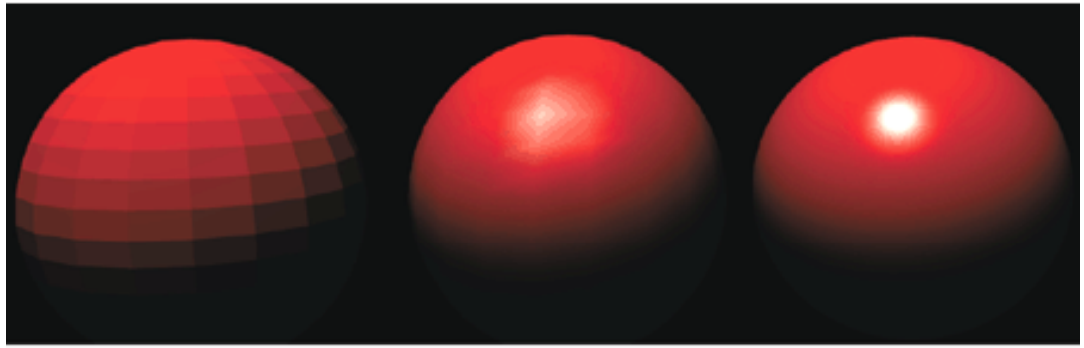


Gouraud shading



Phong shading

From Computer Desktop Encyclopedia
Reproduced with permission.



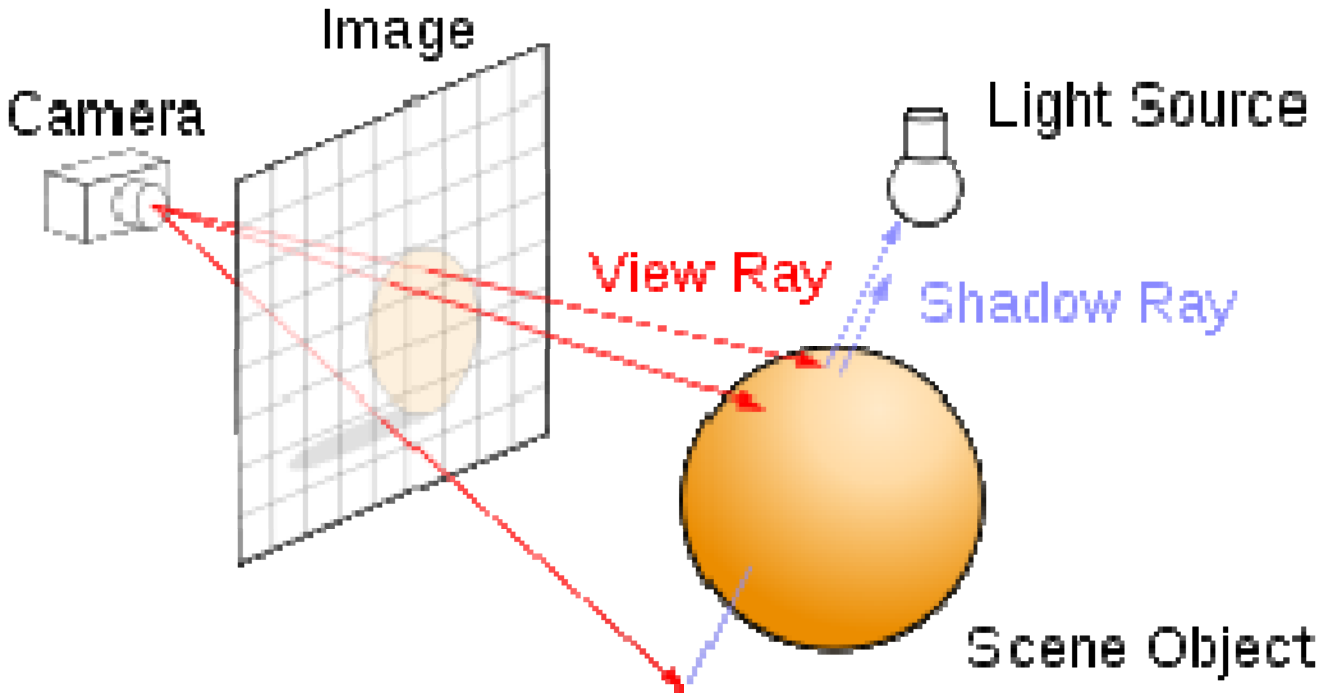
Flat Gouraud Phong

computer.yourdictionary.com/flat-shading

http://www.hlc-games.de/forum/viewtopic.php?f=10&t=56

RAY TRACING

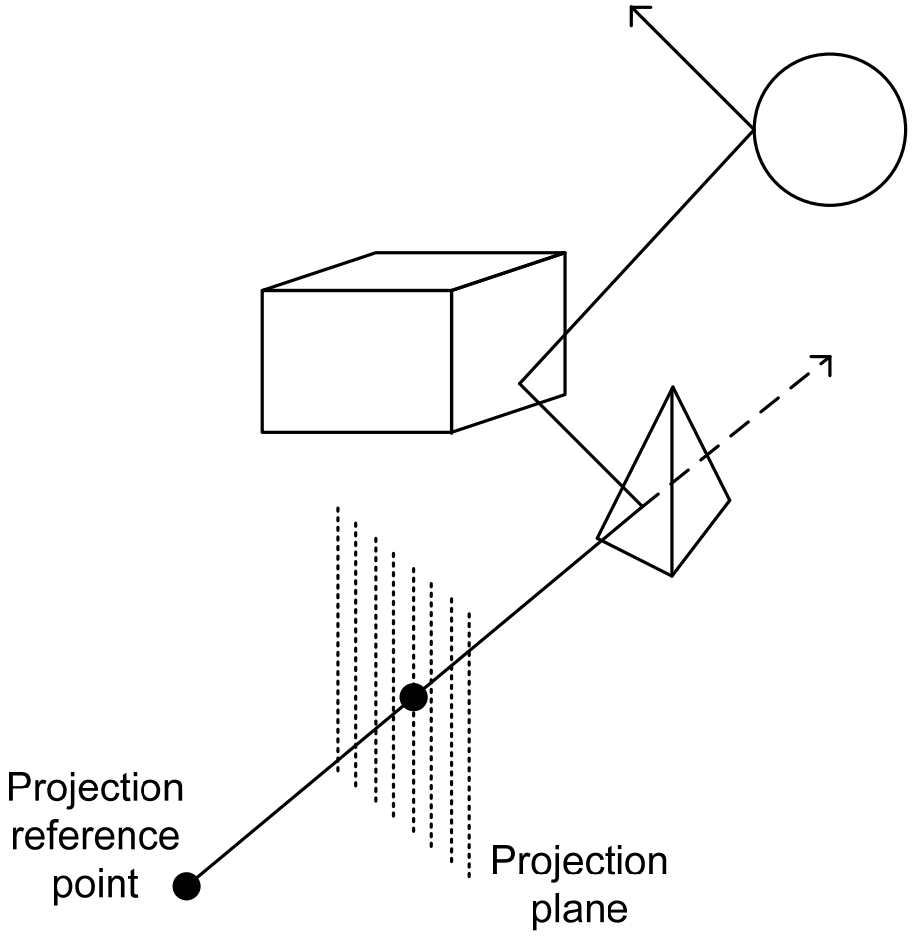
- Kelanjutan ide Ray-Casting
  - ‘Sinar’ diteruskan (memantul ke / menembus objek lain)
  - Mencatat semua kontribusi terhadap intensitas suatu titik
  - Untuk mendapatkan efek pantulan dan transmisi secara global
- Ray-Tracing dasar:
  - deteksi permukaan tampak, efek bayangan, transparansi, pencahayaan dengan beberapa sumber cahaya
- Pengembangan Ray-Tracing:
  - tampilan fotorealistik (terutama objek mengkilap)

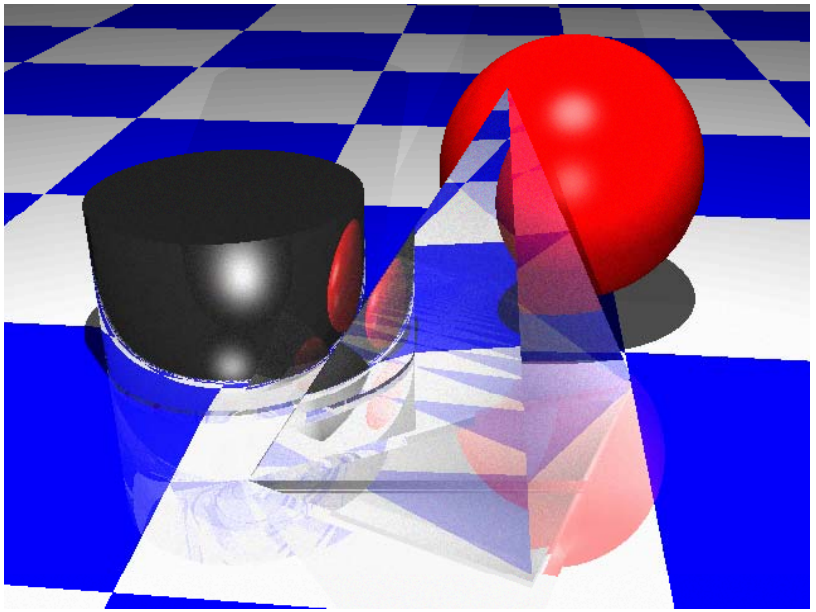


http://en.wikipedia.org/wiki/Ray_tracing_(graphics)

http://en.wikipedia.org/wiki/Ray_tracing_(graphics)

Ilustrasi '*tracing a ray*'





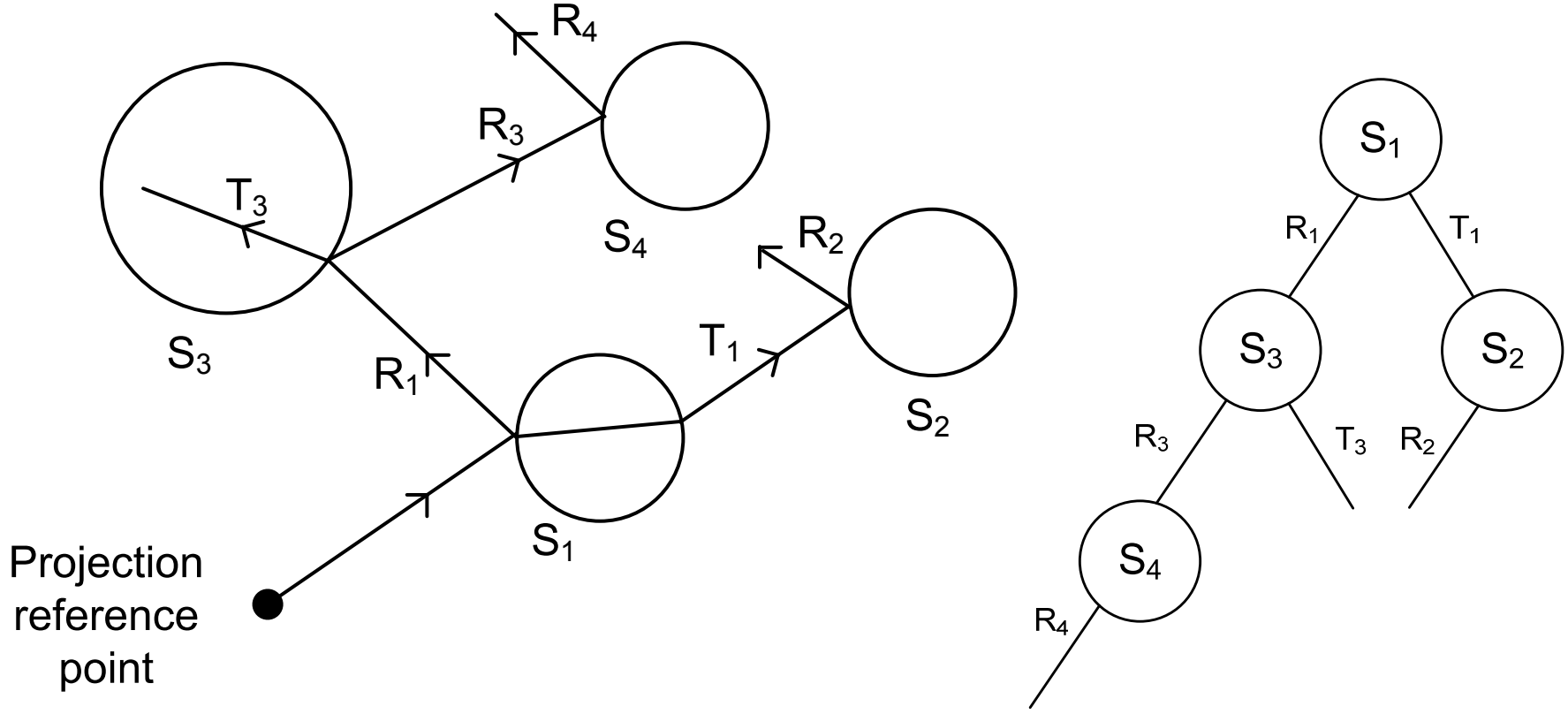
Algoritma Ray-Tracing Dasar

```
For each pixel in projection plane {
   Create ray from the reference point passing through this pixel
   Initialize NearestT to INFINITY and NearestObject to NULL

   For every object in scene {
        If ray intersects this object {
           If t of intersection is less than NearestT {
              Set NearestT to t of the intersection
              Set NearestObject to this object
           }
        }
     }

     If NearestObject is NULL {
        Fill this pixel with background color
     } Else {
        Shoot a ray to each light source to check if in shadow
        If surface is reflective, generate reflection ray: recurse
        If transparent, generate refraction ray: recurse
        Use NearestObject and NearestT to compute shading function
        Fill this pixel with color result of shading function
     }
}
```

Rekursif pada ray-tracing

- Saat *primary ray* (sinar yang berawal dari projection reference point) dipantulkan atau dibiaskan oleh objek, sinar pantulan atau biasan disebut dengan *secondary ray*
- *Secondary ray* akan mengalami perlakuan yang sama seperti *primary ray* saat menemui objek (dipantulkan dan / atau dibiaskan)

Binary Ray-Tracing tree



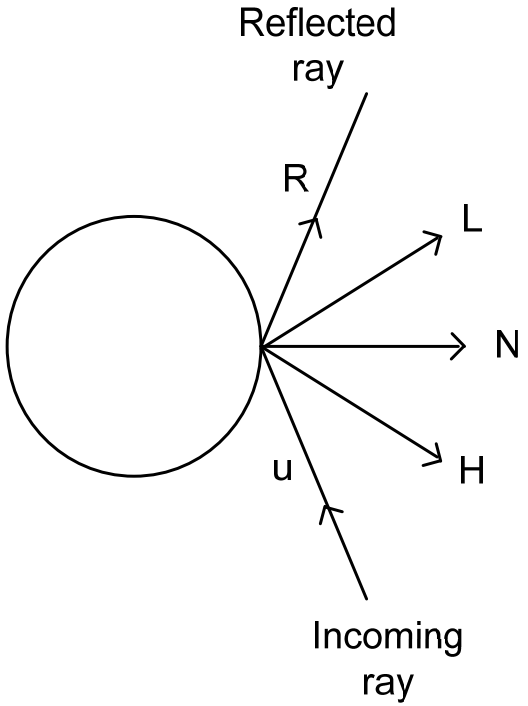
Binary Ray-Tracing tree (cont'd)

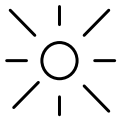
- *Tracing* (pembentukan tree) berhenti jika:
  - Sampai *maximum depth* (pilihan user / kapasitas memori)
  - Sinar sampai ke sumber cahaya
- Intensitas pada suatu pixel: akumulasi intensitas mulai terminal node (paling bawah) pada tree
- Intensitas tiap permukaan mengalami atenuasi (pelemahan) setara dengan jarak permukaan tersebut ke permukaan *parent*-nya (pada tree: node yang tepat di atasnya)

Intensitas akhir suatu pixel

- Merupakan hasil penjumlahan seluruh intensitas -yang telah mengalami atenuasi- (pada root node)
- Jika tidak ada permukaan yang berpotongan dengan sinar dari pixel, maka pixel tersebut diberi nilai intensitas sama dengan latar belakang
- Jika sinar dari pixel berpotongan dengan sumber cahaya (meski tidak reflektif), maka pixel tersebut diberi nilai intensitas sama dengan sumber cahaya

Pantulan





Light
source

$$Ambient = k_a I_a$$

$$Diffuse = k_d (N.L)$$

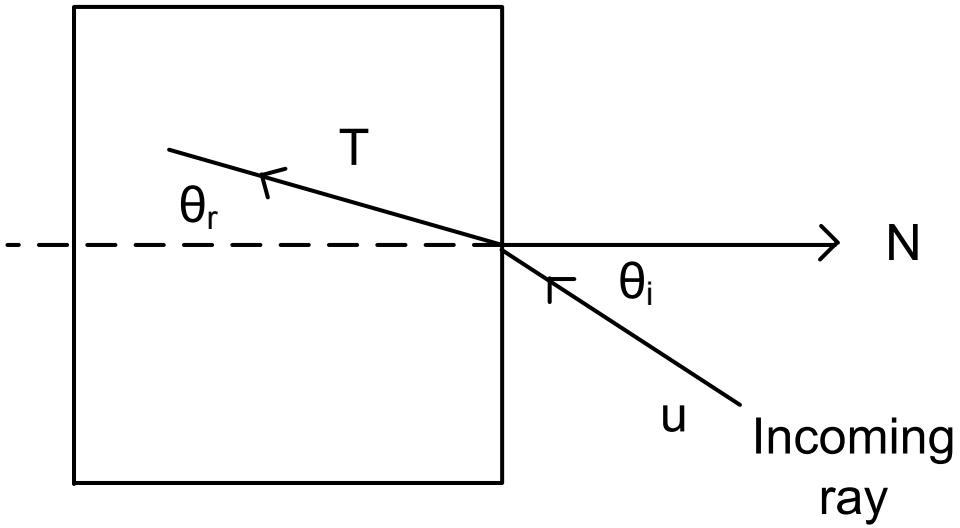
$$Specular = k_s (H.N)^{n_s}$$

$$R = u - (2u.N)N$$

- Jika L berpotongan dengan permukaan lain, maka permukaan tersebut dalam daerah bayangan

Pembiasan

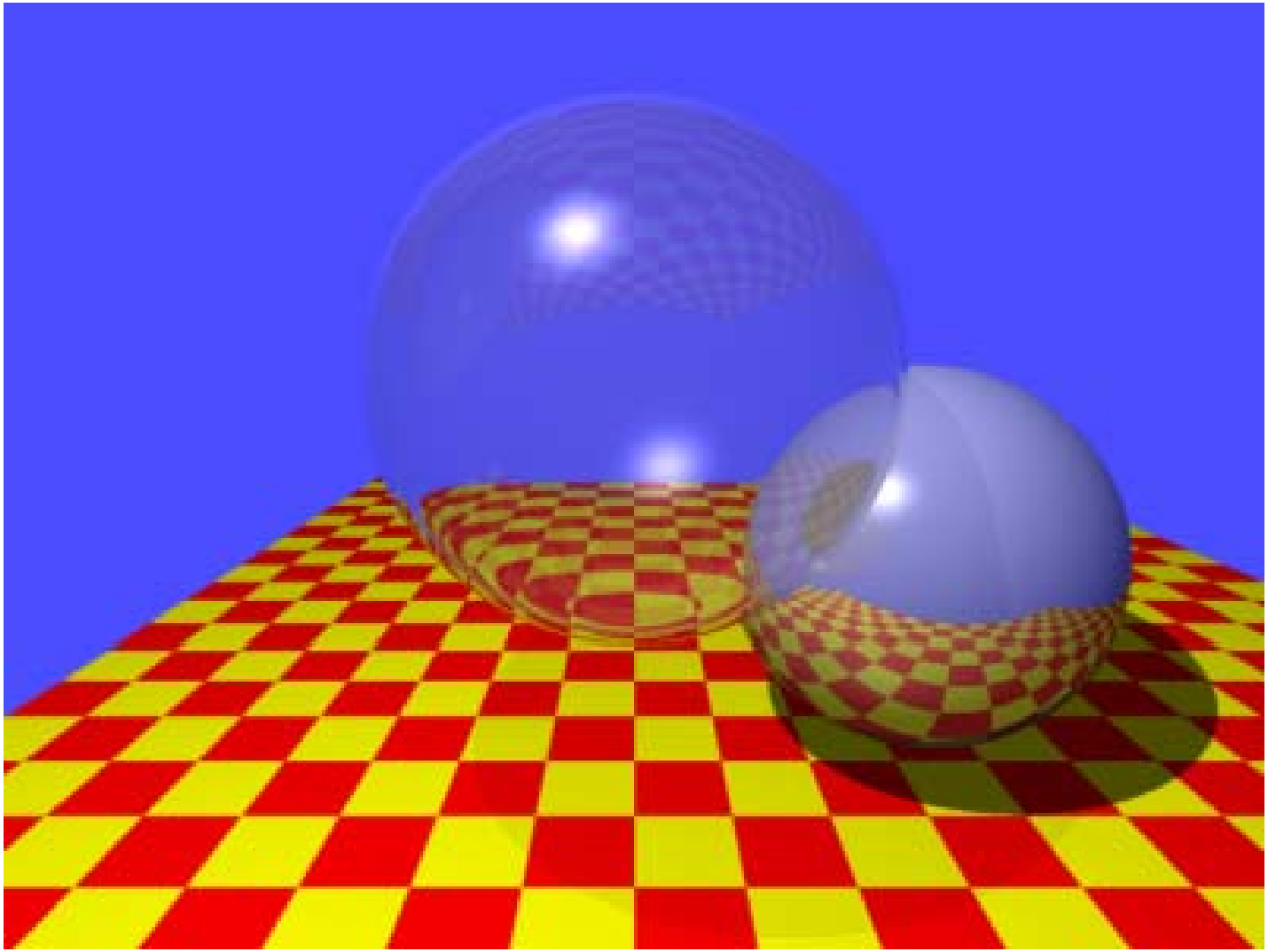
- Untuk objek dengan material transparan



$$T = \frac{\eta_i}{\eta_r} u - (\cos\theta_r - \frac{\eta_i}{\eta_r}\cos\theta_i) N$$

$$\cos\theta_r = \sqrt{1 - \left(\frac{\eta_i}{\eta_r}\right)^2 (1 - \cos^2\theta_i)}$$

Contoh Ray-Tracing



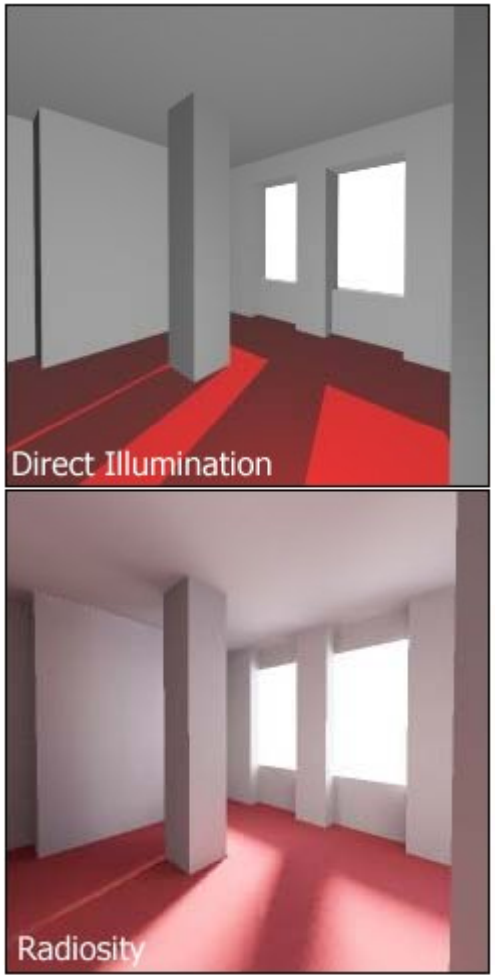
Radiosity

- Memodelkan pantulan difusi dengan lebih akurat
- Mempertimbangkan transfer energi radian antar permukaan (sesuai dengan hukum kekekalan energi)
- Tingkat kecerahan *(brightness)* dan warna dari segala sesuatu tergantung dari segala sesuatu yang lain
- Lebih realistik

Efek visual radiosity

- Cahaya putih mengenai bola merah
- Ada pantulan cahaya merah dari bola ke objek lain di sekelilingnya
- Lantai putih di sekitar bola menjadi kemerah-merahan

Contoh radiosity



http://en.wikipedia.org/wiki/Radiosity_(3D_computer_graphics)

Teori dasar radiosity

- Radiosity (B): energi per satuan luas yang meninggalkan permukaan per satuan waktu; total energi yang dipancarkan dan yang dipantulkan

$$B_i dA_i = E_i dA_i + R_i \int_j B_j F_{ji} dA_i$$

Radiosity x luas = energi dipancarkan + energi dipantulkan

Teori dasar radiosity (cont'd)

- Hubungan timbal balik: $F_{ij}A_i = F_{ji}A_j$

- Setelah dibagi dengan dA_i:

$$B_i = E_i + R_i \int_j B_j F_{ij}$$

- Untuk lingkungan diskrit:

$$B_i = E_i + R_i \sum_{j=1}^{n} B_j F_{ij}$$

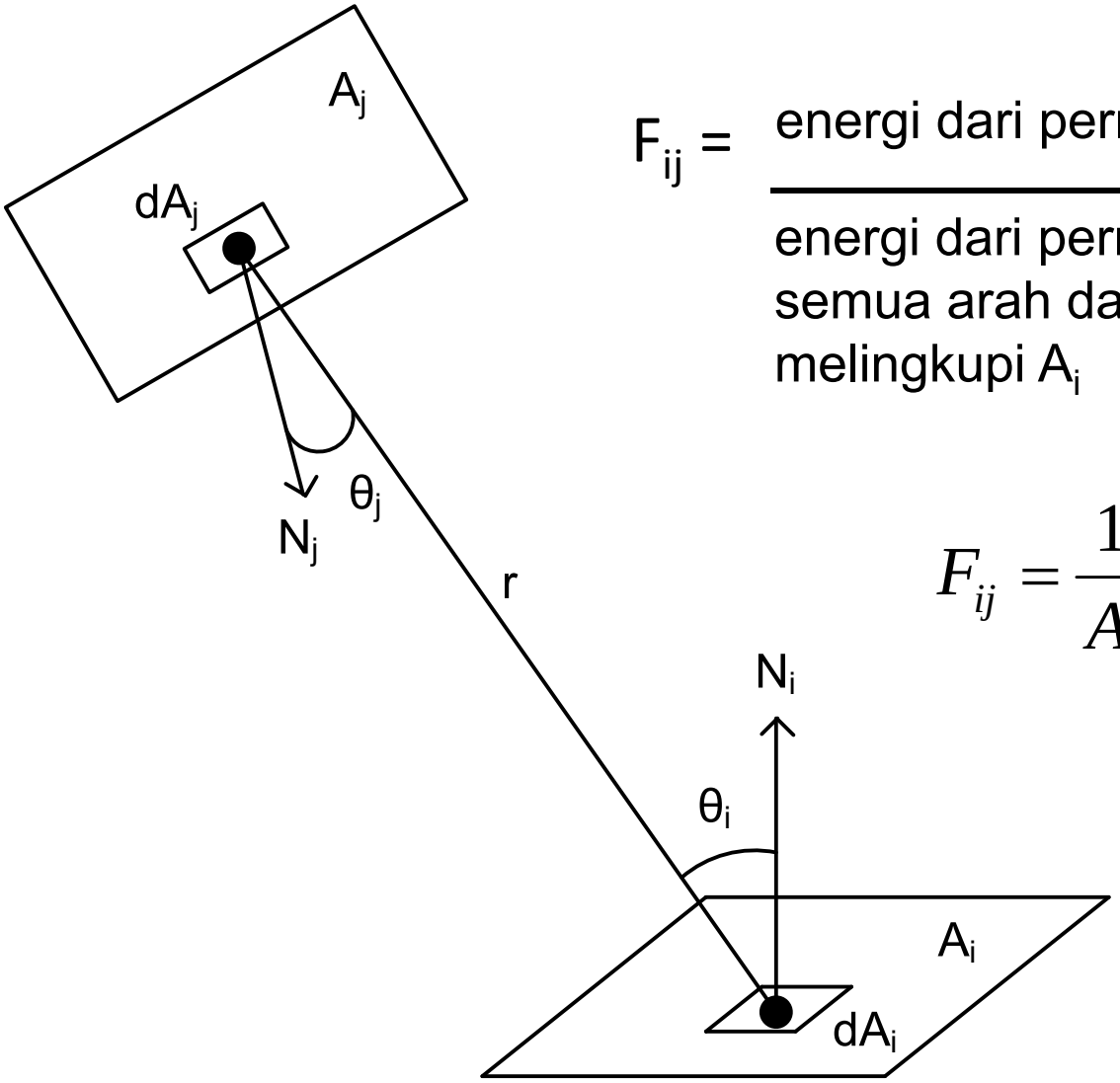
Teori dasar radiosity (cont'd)

- Tiap permukaan saling mempengaruhi, sehingga perlu menyelesaikan n persamaan secara simultan:

$$\begin{bmatrix} 1-R_1F_{11} & -R_1F_{12} & \dots & -R_1F_{1n} \\ -R_2F_{21} & 1-R_2F_{22} & \dots & -R_2F_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ -R_nF_{n1} & -R_nF_{n2} & \dots & 1-R_nF_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ \dots \\ B_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E_1 \\ E_2 \\ \dots \\ E_n \end{bmatrix}$$

- Radiosity bersifat monokromatik.
- Untuk RGB, lakukan perhitungan untuk tiap warna

Form factor



F_{ij} = energi dari permukaan A_i yang sampai ke A_j / energi dari permukaan A_i yang menyebar ke semua arah dalam ruang hemisphere yang melingkupi A_i

$$F_{ij} = \frac{1}{A_i} \int_{A_i} \int_{A_j} \frac{\cos\theta_i \cos\theta_j}{\pi r^2} dA_j dA_i$$

Asumsi dlm perhitungan form factor

- Berlaku hukum kekekalan energi

$$\sum_{j=1}^{n} F_{ij} = 1$$

- Pantulan cahaya seragam

$$A_i F_{ij} = A_j F_{ji}$$

- Permukaan datar atau convex

$$F_{jj} = 0$$