

Sensor dan Aktuator: *Digital Camera* sebagai sensor optikal

Eufрат Tsaqib Qasthari¹

Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA)
Universitas Indonesia¹, Depok, 16424, Indonesia

(eufрат.tsaqib@ui.ac.id¹)

1. Pendahuluan

Kamera digital (DSC atau *Digital Still Camera*) adalah aplikasi yang menantang untuk teknik pemrosesan gambar, karena pada awal penemuannya teori pengolahan data yang diterima oleh sensor gambar merupakan penurunan (*derivative*) dari *camcorders*.

2. Sensor dan Akuisisi Data

Pada kamera digital cara pengambilan data nya cukup berbeda dengan kamera analog. Pada kamera konvensional menggunakan reaksi kimia untuk mengambil gambar, lalu di emulsikan agar gambarnya terlihat pada film. Sedangkan kamera digital menggunakan sensor elektronik untuk mengambil data spasial variasi dari intensitas cahaya lalu menggunakan algoritma pemrosesan gambar untuk merekonstruksi warna dari gambar yang di terima oleh sensor. Terdapat dua teknologi pada pembuatan sensor gambar yaitu CCD (Charge Coupled Device) dan CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor). Sekarang ini dan kedepannya nanti akan lebih banyak dipakai kamera CMOS meskipun kamera CCD akan tetap digunakan pada kamera-kamera kelas atas seperti pada pengamatan astronomi.

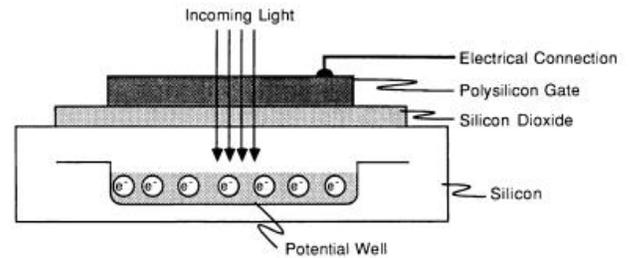
3. CCD (Charge Coupled Device) Camera

Pada awal penemuannya kamera CCD 1970 ditemukan pada tahun 1970 oleh Boyle dan Smith.

Kamera CCD menggunakan dioda-dioda yang sensitif terhadap cahaya yang mengkonversikan cahaya dalam bentuk foton menjadi muatan listrik dalam bentuk elektron. Dioda-dioda ini disebut dengan *photosites*. Setiap fotodektor sensitif terhadap cahaya, maka semakin besar intensitas cahaya yang masuk maka akan semakin besar pula muatan listrik yang terakumulasi. Setiap fotodektor dibuat dengan lapisan tipis silikon dioksida yang dilapisi dengan *Polysilicon Gate* yang diberikan potensial elektrikal positif agar dapat menciptakan daerah deplesi yang menyimpan elektron saat berkas foton datang ke sensor.

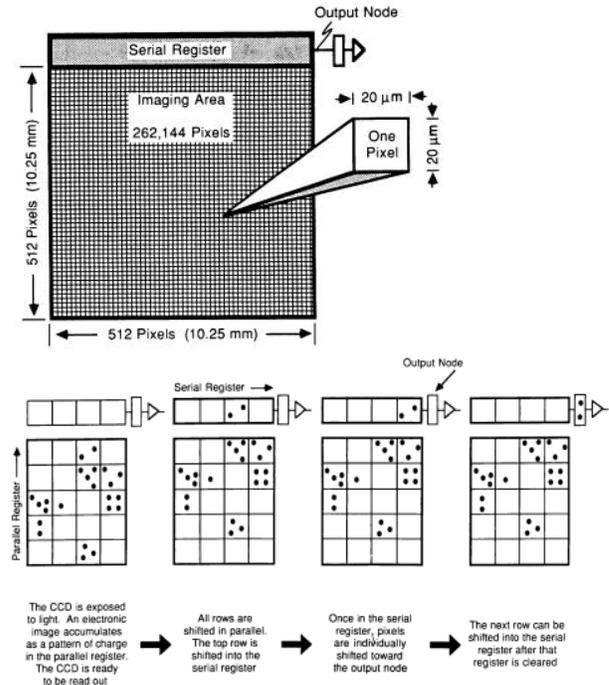
Pada dunia nyata kapasitas sumur potensial (*potential well*) pada foto detektor bisa mencapai jutaan

elektron dengan hanya menggunakan kedalaman lapisan deplesi beberapa mikrometer saja.



Gambar 1. Skema Fotodektor

cara kerja pentransferan muatan pada sensor CCD digambarkan pada gambar dibawah yaitu muatan listrik dikubur pada saluran saluran dibawah silikon. Lalu muatan yang ditransfer tadi akan disalurkan pada kolom-kolom *grid* pada CCD agar dapat didigitasi oleh ADC (*analog to digital converter*).



Gambar 2. Atas: Grid pada sensor kamera, bawah: cara kerja saluran pada sensor CCD.

Pada kamera CCD memiliki beberapa sumber *noise* atau gangguan pada gambar yaitu *Dark Current*, ketidakteraturan pixel, *noise* tumbukan foton dan *CCD read noise*. Penyebab dari *Dark Current* adalah temperatur yang dihasilkan oleh elektron. Ketidakteraturan piksel karena fotodetektor pada grid memiliki kesensitivitasan berbeda pada sinyal cahaya yang diterimanya umumnya 1% sampai 2%. Lalu, *Shot Noise* karena foton yang datang tidak dapat diprediksi. Kelebihan CCD dibanding sensor-sensor kamera lain adalah efisiensi kuantumnya sekitar 80%, noisanya kecil, *High Dynamic Range (HDR)*, *High Photometric Precision*, kerjanya sangat linier, tegangan yang dibutuhkananya kecil (5-15 Volt saja) dan gambar secara geometris stabil sehingga sangat cocok apabila jenis kamera ini digunakan pada instrumen-instrumen astronomi. Bahkan, teleskop Hubble yang sangat populer menggunakan CCD pada sensor pengambilan gambarnya.

Penemuan CCD pada pengambilan gambar ini mengantarkan Boyle dan Smith memenangkan hadiah Nobel bidang fisika 40 tahun setelah penemuannya yaitu pada tahun 2009.

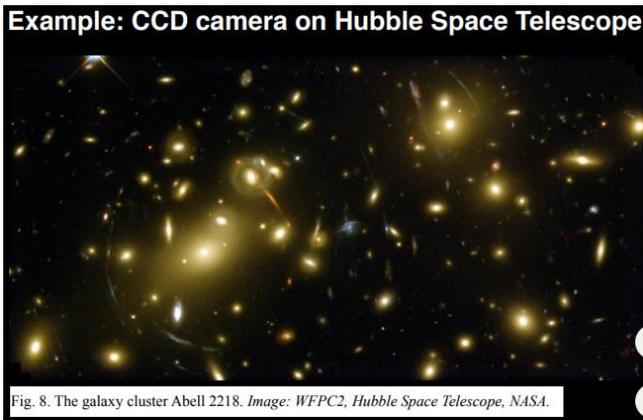


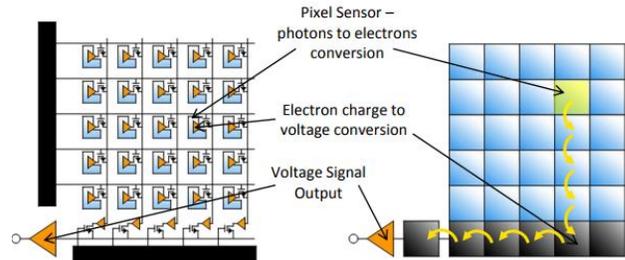
Fig. 8. The galaxy cluster Abell 2218. Image: WFPC2, Hubble Space Telescope, NASA.

Gambar 3. Gambar yang diambil oleh teleskop luar angkasa Hubble

4. CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) Camera

Kamera CMOS menggunakan fotodetektor yang hampir sama dengan kamera CCD hanya saja pada kamera CMOS grid sensor yang mengkonversi cahaya dalam bentuk foton ke muatan listrik setiap sensor pixelnya juga mengkonversikan muatan tersebut menjadi sinyal tegangan, sedangkan pada CCD muatan listrik disalurkan terlebih dahulu ke node *output* untuk di konversikan menjadi sinyal beda tegangan.

Perbedaan lainnya sensor CMOS juga memuat rangkaiannya lainnya seperti *digital controller* untuk mengontrol setiap pixel pada grid sensor dan ADC. Pada gambar dibawah ini menggambarkan perbedaan cara konversi muatan elektron menjadi sinyal beda tegangan output pada sensor CCD dan CMOS.



Gambar 4. Perbedaan cara kerja sensor CMOS dan CCD.

Pada tabel dibawah ini menyimpulkan perbedaan teknis pada kamera CMOS dan kamera CCD.

Feature	CMOS	CCD
Signal out of pixel	Voltage	Electrical Charge
Signal out of chip	Bits (digital)	Voltage (analog)
Signal out of system	Bits (digital)	Bit (digital)
System noise	Moderate	Low
Chip complexity	High	Low
System complexity	Low	High
System components	Sensor, lens, few additional support chips	Sensor, lens, multiple support chips

Secara praktis kedua sensor ini memiliki perbedaan perbedaan yang dapat dirasakan secara langsung oleh pengguna yaitu sensor CMOS mempunyai pixel uniformity yang lebih rendah dari CCD karena desain grid pixel sensornya itu sendiri. Sehingga gambar yang diambil oleh kamera CMOS umumnya akan memiliki noise yang lebih besar dibanding dengan gambar yang diambil oleh kamera CCD. Pada sisi harga produksi sensor CMOS akan lebih rendah dari CCD karena sensor CMOS menggunakan teknologi yang sama pada chip-chip memori dan logika. Kelebihan sensor CMOS dibanding sensor CCD adalah sensor CMOS memungkinkan sistem yang jauh lebih kecil dan penggunaan dayanya lebih kecil, sehingga sensor CMOS dominan digunakan pada kamera-kamera *handphone*.

Aplikasi CMOS sensor sekarang sudah digunakan ke berbagai industri contohnya industri otomotif, keamanan dan lain-lain. Meskipun begitu sensor kamera CMOS tidak menggantikan sensor kamera CCD karena sensor CCD memiliki kualitas pengambilan gambar yang jauh lebih baik dan *noise* nya kurang.

Referensi

1. http://www.writing.ucsb.edu/faculty/holms/technology_report_Alvin%20Quach2.pdf diakses 24 Desember 2017, 21.30 WIB
2. https://www.axis.com/files/whitepaper/wp_ccd_cmos_40722_en_1010_lo.pdf diakses 24 Desember 2017, 22.32 WIB
3. https://www.noao.edu/meetings/gdw/files/Howell_CCDs.pdf diakses 24 Desember 2017, 22.36 WIB
4. <http://www.dmi.unict.it/~battiato/download/DSC1.pdf> diakses 24 Desember 2017, 22.40 WIB