

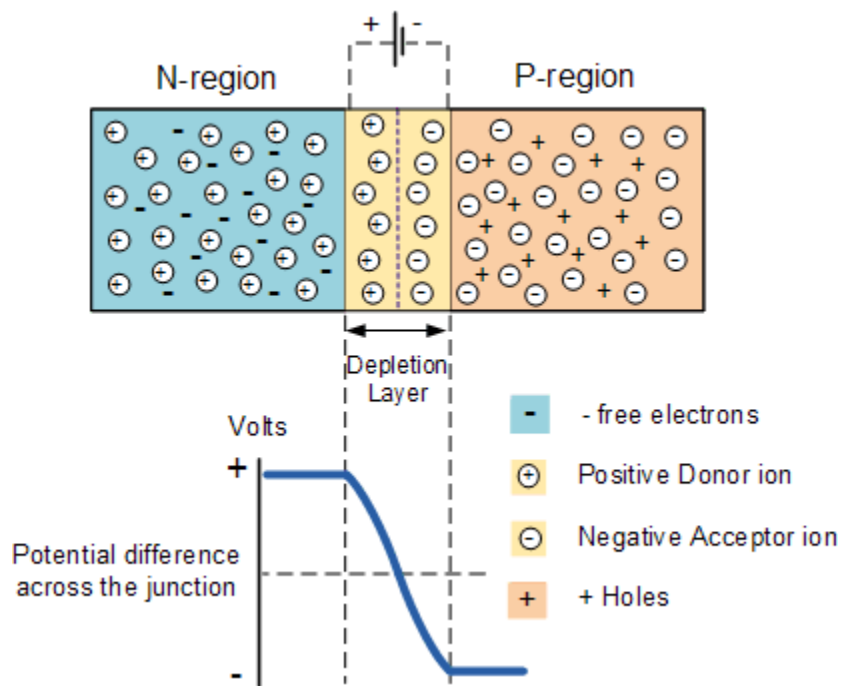
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Fotovoltaik

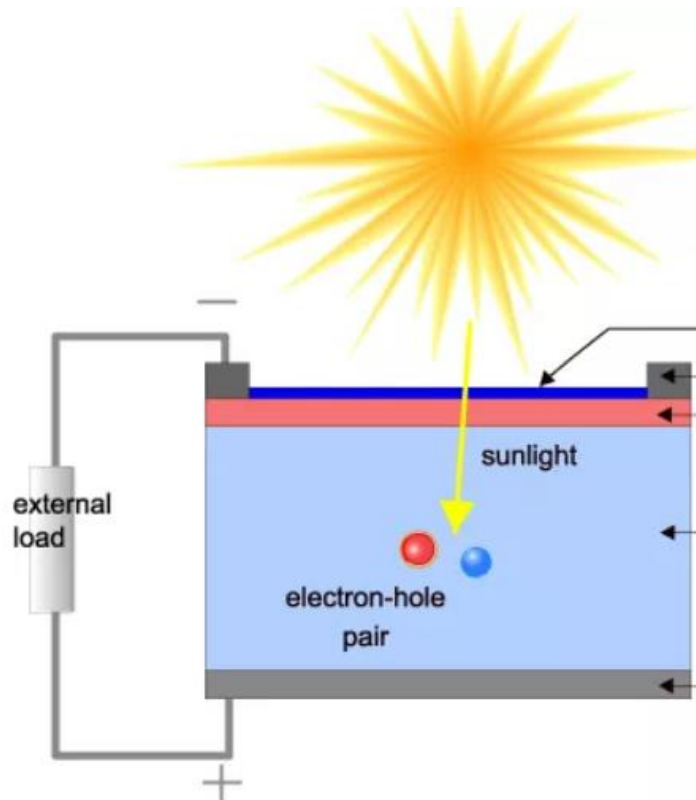
Suatu panel fotovoltaik memiliki banyak sel fotovoltaik yang dihubungkan secara seri dalam sirkuit paralel yang membuat suatu modul surya. Modul ini menyatukan sel fotovoltaik dan kabelnya di dalam suatu pelindung untuk menjaga terhadap kondisi cuaca. Modul-modul ini lalu akan disambungkan satu sama lain untuk menjadi suatu panel fotovoltaik.

Sel fotovoltaik sendiri merupakan sebuah dioda semikonduktor yang *junction p-n* nya terpapasi terhadap cahaya [8], [9]. Semikonduktor ini terdiri dari ikatan-ikatan atom yang dimana terdapat elektron sebagai penyusun dasar. Jika dilihat pada Gambar 2.1, semikonduktor tipe n mempunyai kelebihan elektron (muatan negatif) sedangkan semikonduktor tipe p mempunyai kelebihan *hole* (muatan positif) dalam struktur atomnya. Kondisi kelebihan elektron dan *hole* tersebut bisa terjadi dengan melakukan doping material dengan atom dopan.



Gambar 2.1 Cara Kerja PN Junction

Pada Gambar 2.1 juga bisa dilihat saat semikonduktor tipe p dan tipe n melakukan kontak, maka kelebihan elektron akan bergerak dari semikonduktor tipe n ke tipe p sehingga membentuk kutub dengan polaritas positif, dan sebaliknya, kutub polaritas negatif pada semikonduktor tipe n. Aliran elektron dan *hole* ini juga akan membentuk medan listrik di *junction* dimana seperti pada Gambar 2.2, ketika cahaya matahari mengenai *junction* PN ini akan mendorong elektron dari semikonduktor menuju kontak negatif sementara *hole* akan bergerak menuju kontak positif yang selanjutnya bisa dimanfaatkan sebagai listrik.



Gambar 2.2 Ilustrasi Bergeraknya Elektron dan *Hole*

2.2 Full State Observer

Full state observer adalah sistem kendali yang digunakan untuk mengestimasi semua status dari sistem[10]. *Observer* bisa didesain dalam bentuk waktu kontinyu atau waktu diskrit. Ada beberapa hal yang harus diperhatikan dalam merancang sistem kendali penuh dengan estimator. Pertama, tujuan dari *observer* atau estimator adalah untuk membuat estimasi dari status $x(t)$ berdasarkan pengukuran keluaran sistem $y(t)$ dan input sistem $u(t)$. Kedua, *observer* menggunakan model matematis dari persamaan status yang direalisasikan dari sistem. Jadi, matrix A, B, C, dan D yang merupakan representasi *plant* sistem dalam bentuk matrix diasumsi diketahui. Ketiga, *observer* adalah sistem linear dinamis orde ke n dimana n adalah jumlah status variabel di sistem. Keempat, untuk

merancang sistem kendali *full state observer*, sistem harus dapat diamati (*observable*) dan dikendalikan (*controllable*).

Controllability adalah kemungkinan untuk mengubah sistem menjadi status tertentu dengan mengaplikasikan masukan kendali. Jika sistem tidak dapat dikendalikan, maka tidak ada masukan yang bisa mengendalikan status sistem. Keterkendalian sistem bisa dicari dari representasi *state space* sistem dengan melihat matrix keterkendaliannya seperti pada persamaan 1. Jika dan hanya jika matrix ini memiliki *rank* sebesar n dimana n merupakan orde sistem, maka sistem dapat dikendalikan.

$$U_c = [B \ AB \ A^2B \ \dots \ A^{n-1}B] \quad (1)$$

Observability adalah kemungkinan untuk mengamati status permulaan sistem dari keluaran. Jika sistem tidak dapat diamati, maka perilaku sistem tidak akan bisa ditentukan dari keluarannya yang mengakibatkan sistem tidak dapat menggunakan statusnya untuk menstabilkan sistem. Keteramatan sistem bisa dicari dari representasi *state space* sistem dengan melihat matrix keteramatannya seperti pada persamaan 2. Jika dan hanya jika matrix ini memiliki *rank* sebesar n dimana n merupakan orde sistem, maka sistem dapat diamati.

$$U_o = \begin{bmatrix} C \\ CA \\ CA^2 \\ \vdots \\ CA^{n-1} \end{bmatrix} \quad (2)$$

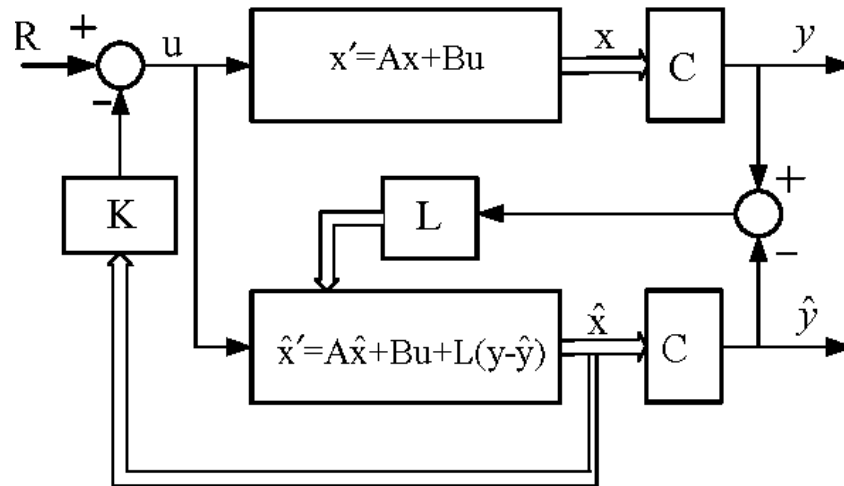
Jika kedua syarat sudah terpenuhi, sistem kendali *full state observer* bisa dirancang. Suatu sistem memiliki persamaan status seperti pada persamaan 3.

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t), \quad y(t) = Cx(t) + Du(t) \quad (3)$$

Estimatornya dimodelkan seperti pada persamaan 4 dimana L adalah matrix ukuran $n \times m$ untuk *gain* estimator. Persamaan status di persamaan 4 melakukan permodelan dari persamaan asli sistem, dengan status asli $x(t)$ diganti dengan estimasi $\hat{x}(t)$, dan perbedaan antara *output* yang diukur sebenarnya $y(t)$ dengan estimasi $\hat{y}(t)$.

$$\dot{\hat{x}}(t) = A\hat{x}(t) + Bu(t) + L[y(t) - \hat{y}(t)], \quad \hat{y}(t) = C\hat{x}(t) + Du(t) \quad (4)$$

Persamaan 3 dan persamaan 4 juga bisa dimodelkan dalam diagram blok seperti pada Gambar 2.3 dimana K merupakan matrix *gain* kendali dan L merupakan matrix *gain* estimator.



Gambar 2.3 Diagram Blok *Full State Observer*

Matrix K dan L dapat dicari dengan menggunakan metode *pole placement*. Metode ini merupakan metode untuk memasang *pole-pole* lup tertutup dari suatu *plant* di lokasi yang sudah ditentukan dalam bidang s . Jika suatu sistem memiliki orde n , matrix *gain* kendalinya bisa didapatkan pada persamaan 5. Sementara, matrix *gain* estimatornya pada persamaan 6.

$$K = [k_1 \ k_2 \ \dots \ k_n] \quad (5)$$

$$L = \begin{bmatrix} l_1 \\ l_2 \\ . \\ . \\ l_n \end{bmatrix} \quad (6)$$

Metode *pole placement* akan melakukan substitusi dari persamaan 5 dan 6 ke persamaan 7 dan 8 yang memerlukan μ_c sebagai letak *pole* kendali yang diinginkan dan μ_o sebagai letak *pole* estimator yang diinginkan untuk mendapatkan matrix *gain* kendali dan estimator yang berisi angka.

$$|sI - A + BK| = (s - \mu_{c1}) \dots (s - \mu_{cn}) \quad (7)$$

$$|sI - A + CL| = (s - \mu_{o1}) \dots (s - \mu_{on}) \quad (8)$$

2.3 Light Dependent Resistor

Light dependent resistor (LDR) adalah jenis resistor yang nilai hambatan atau nilai resistansinya tergantung pada intensitas cahaya yang diterimanya. Nilai hambatan LDR akan menurun pada saat menerima intensitas cahaya yang tinggi (terang) dan menjadi tinggi jika dalam kondisi gelap. Dengan kata lain, fungsi LDR adalah untuk menghantarkan arus listrik jika menerima intensitas cahaya dan menghambat arus listrik dalam kondisi gelap.

LDR pada sistem ini digunakan sebagai komponen sensor utama. LDR akan menerima intensitas cahaya dan diberi tegangan untuk menghasilkan nilai yang dapat direpresentasikan dalam bentuk digital melalui mikrokontroler. Lalu berdasarkan intensitas cahaya dan sistem kendali, akan memberikan perintah pergerakan kepada aktuator melalui mikrokontroler juga.

2.4 Motor Servo

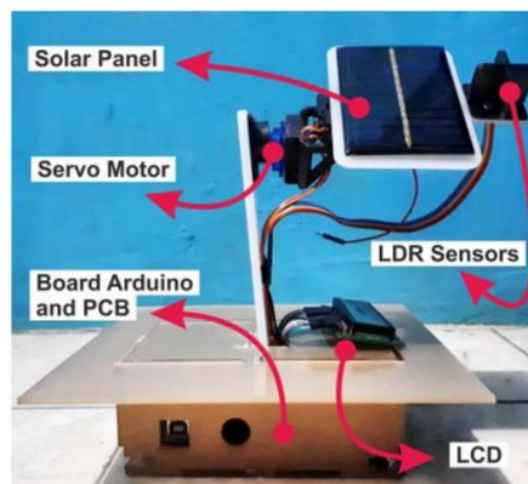
Motor servo adalah sebuah motor yang memiliki sistem kendali *lup* tertutup didalamnya yang memungkinkan motor tersebut dapat mengetahui posisinya setiap saat. Jika posisi motor servo belum mencapai posisi yang ditentukan, kontroler pada

sistem kendali akan melakukan koreksi posisi motor sehingga posisi motor sama dengan posisi yang ditentukan.

Motor servo pada sistem ini digunakan sebagai komponen aktuator utama. Motor servo akan menerima sinyal dari mikrokontroler untuk mengubah posisi sesuai dengan kalkulasi yang dilakukan oleh sistem kendali di mikrokontroler. Ada dua motor servo yang digunakan dalam sistem. Satu motor servo berguna untuk menggerakkan panel surya dalam sumbu horizontal dan satu motor servo lagi berguna untuk menggerakkan panel surya dalam sumbu vertikal.

2.3 Kajian Literatur

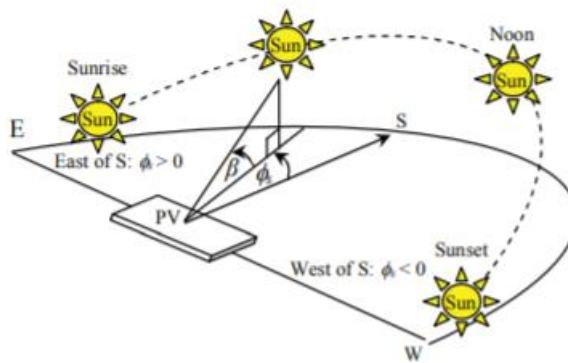
Pembuatan sistem yang serupa dalam skala kecil pernah dilakukan dengan membuat prototipe panel surya yang memanfaatkan dua sumbu sebagai arah gerakannya dan menggunakan empat LDR yang dipasang di samping panel surya dalam bagian terpisah seperti pada Gambar 2.4. Sistem akan menggerakkan panel surya sesuai perbandingan intensitas cahaya matahari yang didapat oleh keempat LDR.



Gambar 2.4 Prototipe Panel Surya

Menurut hasil penelitian, terdapat peningkatan dalam energi yang dihasilkan oleh panel surya dengan menggunakan sistem kendali jika dibandingkan dengan posisi panel surya yang *stationary* pada suatu sudut tertentu[3]. Penelitian lain yang serupa juga menunjukkan peningkatan daya yang dihasilkan dengan menggunakan panel surya dengan dua sumbu gerak dibanding satu[11].

Ada juga penelitian yang membandingkan sistem kendali *open loop* dan *close loop* pada panel surya. Pada sistem *open loop*, digunakan rumus untuk menggerakkan panel surya. Perhitungan ini memerlukan parameter-parameter tertentu, diantaranya adalah posisi matahari saat siang, waktu matahari terbit, dan waktu matahari terbenam seperti yang ditunjukkan di Gambar 2.5. Dari perhitungan akan didapatkan posisi yang harus dimiliki panel surya agar bisa mengikuti matahari dari terbit sampai terbenam[12]. Sebagai perbandingan, pada penelitian yang saya kerjakan, digunakan sistem *close loop* yang memanfaatkan LDR sebagai sensor yang akan memberikan *feedback* dan menggerakkan aktuator sesuai bacaan sensor. Sistem *open loop* tergantung pada kondisi lingkungan, jika terjadi deviasi cahaya matahari karena pengaruh musim atau cuaca, gerakan panel surya tidak akan menyesuaikan karena input sistem tidak berubah. Namun pada sistem *close loop*, sistem akan bisa menyesuaikan karena memanfaatkan sensor yang membaca lingkungan sekitar.



Gambar 2.5 Ilustrasi Posisi Matahari

Penelitian lain juga ada yang melakukan modifikasi pada panel surya dengan menambahkan rangkaian elektronik yang memanfaatkan dua LDR sebagai sensor cahaya, lalu menyesuaikan putaran sudut berdasarkan cahaya yang diterima. Meskipun penulis hanya memanfaatkan gerak vertikal, tertulis bahwa energi yang dihasilkan panel surya meningkat sebesar 30% dari tidak menggunakan sistem kendali[13]. Namun, karena hanya menggunakan satu sumbu gerak, panel surya perlu diletakkan di tempat yang ideal agar cahaya matahari bisa datang tegak lurus terhadap panel.

Sebagai komparasi sensor, ada studi yang menggunakan kamera sebagai sensor cahaya, lalu menggunakan *digital image processing* untuk mengetahui letak matahari dan menggerakkan panel surya berdasarkan letak matahari[14].