

# Studi Kapasitas Energi Akumulator Panas Matahari untuk Mesin Tetas Hybrid

Budhy Setiawan

Teknik Elektro, Politeknik Negeri Malang, Malang, Indonesia.

[budhy.setiawan@polinema.ac.id](mailto:budhy.setiawan@polinema.ac.id)

---

## Abstrak

Tahun 2020, energi *fossil* dunia akan habis. Energi alternatif sinar matahari di wilayah tropis sangat menjanjikan, *free* dan abadi. Wilayah Indonesia memiliki potensi besar akan energi panas matahari, 5 Kwh/m<sup>2</sup>/hari rata rata per tahun. Salah satu area teknologi pertanian yang dapat secara langsung memanfaatkan energi matahari tanpa konversi adalah mesin tetas telur. Kebutuhan energi panas mesin penetas telur sudah *urgent* untuk memanfaatkan energi *hybrid* panas matahari, selain energi listrik. Studi ini menggunakan metode penyimpanan panas dengan material kering paving untuk mesin penetasan *full automatic* terprogram.

Permasalahan utama pada metode tersebut ada pada bagaimana energi panas matahari dapat diserap, disimpan dan ditranfer ke mesin penetas, hingga efisiensi energi mencapai 70%. Selain masalah penyimpanan panas, bagaimana regulator suhu tinggi akumulator ke inkubator (mesin penetas) dengan metode kontrol *Buck*.

Langkah pertama, studi berupa analisa perhitungan kapasitas energi akumulator panas matahari, simulasi penyerapan energi matahari hingga pemanfaatannya pada mesin tetas hybrid. Berikutnya studi empirik di tumpukan pada penemuan *desain akumulator* dengan metode *flat collector*, dan parameter desain akumulator dalam mempertahankan panas dengan metode buka & tutup kelambu kolektor dan isolasi konduktif & radiatif hingga tercapai efisiensi serapan energi 70%. Langkah kedua, studi ditumpukan pada penemuan parameter desain dan pembuatan *heat regulator* metode *PID (Proportional Integral Differential Pulse Width Modulation) Buck* untuk menyesuaikan panas akumulator penyimpan yang bersuhu tinggi (40°C – 110°C) ke inkubator penetas telur yang bersuhu 37°C – 40°C. Selain *heat regulator*, studi di tumpukan pada metode *switching* manajemen panas *hybrid* matahari dan listrik *power intake* mesin tersebut.

Dalam studi ini kontrol menggunakan elektronik digital terprogram, *MCU (microcontroller unit)*. Dalam proses pelaksanaan studi, data akurat empirik studi didapatkan dengan menggunakan metode teknologi *data logger Matlab* melalui *DAQ (Data Aquisition interface)* untuk tujuan analisa unjuk kerja parameter parameter berkenaan. Mesin tetas telur *energy hybrid* diharapkan mampu mengurangi konsumsi energi listrik hingga 60 % pertahun operasional.

Sebagai hasil analisa perhitungan menunjukkan bahwa Kolektor datar 2 m<sup>2</sup> dengan efisiensi konversi sinar matahari ke panas sebesar 70% pada bahan penyimpan panas akumulator 7 KWj, dengan efisiensi isolasi 80% dapat mencukupi energi mesin tetas 1000 butir telur dalam 2 hari.

**Kata kunci:** Mesin penetas hybrid, Akumulator panas matahari, *Flat Collector*.

---

## 1. Pendahuluan

### 1.1. Latar belakang

Cadangan energi fosil dunia (minyak, gas dan batu bara) telah menurun sejak 2008 [World oil Reserve], dan diprediksi pada 2020 telah habis [EBTKE]. Salah satu energi alternatif terbarukan adalah energi matahari yang bersifat abadi dan *free*. Energi matahari tersebut memiliki daya 1 KW/m<sup>2</sup> rata-rata dipermukaan bumi dengan energy hingga 7 KWjam /m<sup>2</sup>/hari rata rata per tahun [Andreev, Hosein]. Energi matahari pada umumnya secara teknologi dikonversi ke listrik, selain itu juga disimpan dalam energi panas menggunakan material cair dan material kering [Ercan]. Salah satu implementasi energi matahari dapat dimanfaatkan pada mesin penetas telur.

Implementasi tersebut sangat relevan dan efektif digunakan, hal tersebut berkenaan dengan posisi geografis Indonesia pada wilayah koordinat tropis yang memiliki energi matahari cukup tinggi, 5 Kwh/m<sup>2</sup>/hari rata rata per tahun [NASA].

Dapat diperhitungkan, bila sebuah atap rumah dengan luas 10 m<sup>2</sup>, maka energi perhari diterima diatap rumah tersebut sama dengan 50 Kilo Watt jam per hari rata rata per tahun. Dengan efisiensi pengumpulan dan penyimpanan energi panas sebesar 70 % [Brian] (bila menggunakan metoda pengumpulan dan penyimpanan udara panas), maka didapatkan energi panas sebesar 5,3 KWj /m<sup>2</sup> per hari.

Di masyarakat dan industri, mesin penetas telur hampir secara keseluruhan menggunakan energi listrik. Mesin tersebut berkenaan dengan

pengadaan pangan akan daging dan telur unggas masyarakat yang terus meningkat dan mudahnya akses listrik PLN. Dilain fihak, negara Indonesia telah menyatakan bahwa energi fosil dunia akan habis pada tahun 2020 [EBTKE]. Ironisnya, dalam decade ini, di Indonesia, peningkatan pengadaan energi listrik mengandalkan energi fosil sebagai bahan baku energi listrik [Republika].

Dalam studi ini, penelitian empiris diharapkan dapat mengurangi penggunaan energi listrik pada penggunaan mesin penetas telur yang ada. Studi tersebut berkenaan dengan pernyataan Kepala Dinas Peternakan Jatim, bapak Maskur, “Jatim produksi setiap tahunnya mencapai 270 ribu ton telur dan 11.155 ton daging ayam” [TRIBUNNEWS]. Setiap tahun, 270 ribu ton telur (= 4.500.000.000 butir, 60 gram /butir) dihasilkan oleh 4.120.879 ekor induk dengan masa produktif 3 tahun (1000 hari). Atau jumlah indukkan sama dengan 4.120.879 ekor, yang berasal dari jumlah DOC (*Day Old Chicken*) yang sama. Sedang daging ayam mencapai 11.155 ton (= 9.295.833 DOC dengan siap panen 1,2 Kg). Sehingga dalam satu tahun, Jatim memproduksi 13.416.712 DOC. Energi untuk menetaskannya DOC mencapai 102 KWj /1000 DOC. Sehingga, energi listrik total untuk memproduksi 13.416.712 DOC mencapai 1,368 TWJ/tahun TWj (TeraWatt jam, 1 Tera = 1000 Mega), setara dengan biaya Rp 1,3 Milyar rupiah per tahun (asumsi biaya listrik per KWj = Rp 964).

Dengan harapan pengurangan energi 60% pertahun oleh penggunaan akumulator dari studi ini, Jatim dapat mengurangi konsumsi listrik untuk selamanya sebesar 821,1 MWj/tahun atau 2,26 MWj per hari.

Oleh karena mesin penetas telur membutuhkan energi panas, adalah bijak, bila memanfaatkan energi panas matahari sebagai komplemen listrik dengan metode penyimpanan panas matahari ke akumulator panas, karena metode tersebut memiliki konversi hingga 80% energi [Ercan] dibanding menggunakan energi listrik yang menghabiskan fosil energi dan *solarcell* yang hanya mampu mengkonversi maksimum 20% [Andreev].

Alur studi diawali dengan pemanfaatan energi matahari menggunakan penyimpan panas berbahan sekam dengan kontrol manual [Bambang], kemudian pemanfaatan energi hybrid listrik dan sekam matahari [Eni]. Pada perkembangan lanjutan studi penyimpanan energi matahari pada SWH (*Solar Water Heater*) untuk supply energi panas mesin tetas [Kuye]. Alternatif konversi energi matahari ke listrik sebagai supply panas menggunakan Photovoltaic hanya berefisiensi 20% [Andreev]. Pada studi ini, panas sinar matahari disimpan dalam akumulator berbahan penyimpan kering *concrete block* [Brian] dengan kolektor datar (*flat collector*) untuk dimanfaatkan pada mesin tetas

hybrid listrik memiliki efisiensi hingga 70% [Brian, Ercan]. Keunggulan metode penyimpan udara panas terletak pada efisiensi konversi yang sangat tinggi, teknologi kolektor dan akumulator mudah dan murah. Kemudahan dan kemuraan tersebut juga didapatkan dari peran kontrol elektronika dalam memaksimalkan energi panas terserap, meregulasi panas tersimpan, dan mempertahankan suhu inkubator dengan memanfaatkan panas akumulator atau listrik.

## 1.2. Tujuan Studi

Studi ini diarahkan untuk mendapatkan sebuah desain prototype Mesin Penetas Telur *Hybrid Matahari full automatic*, yang dapat dimanfaatkan oleh masyarakat peternak rumah tangga hingga skala industri dengan penghematan energi listrik hingga 60% per tahun. Tujuan kedua, didapatkannya parameter, keilmuan dan teknologi sebagaimana rumusan masalah dari studi akumulator panas *flat collector*, sehingga penskalaan dan difersifikasi kapasitas energi panas akumulator dan mesin dapat didesain nantinya.

## 1.3. Rumusan masalah

1. Bagaimana parameter dan desain penyimpan panas pada metode penyimpan udara panas dengan material kering penyimpan *concrete* ber *specific heat capacity 1,1*, sehingga memiliki efisiensi energi 70% dari 7 KWj/m<sup>2</sup> per hari.
2. Bagaimana kontrol *PID UTP LTP (Proportional Integral Differential Upper Tip Point Lower Tip Point)* menjadikan kelambu kolektor dapat membuka dan menutup hingga didapatkan energi maksimal berdasarkan beda intensitas cahaya matahari dan panas akumulator.
3. Bagaimana metode kontrol *Buck Converter* pada regulator udara panas dapat mengadaptasikan suhu tinggi akumulator, 40 – 110 °C ke suhu udara inkubator 37 – 41 °C.

## 1.4. Manfaat studi

Target pertama secara umum dari studi ini adalah pemanfaatan energi panas matahari dan penyimpanan energi panas dengan menggunakan material kering, *concrete block*; sebagai energy mesin penetas.

Target kedua, ditemukannya parameter *heat capacity concrete block* yang merupakan implementasi baru dalam *dry heat accumulator* untuk ditulis dalam jurnal. Sehingga sumbangan artikel jurnal masalah densitas energi *concrete block* dalam studi lanjut akan sangat diperlukan untuk desain penyimpanan panas range 40 – 110 °C.

Target ketiga, ditemukannya formula desain penyimpan energi panas matahari dengan

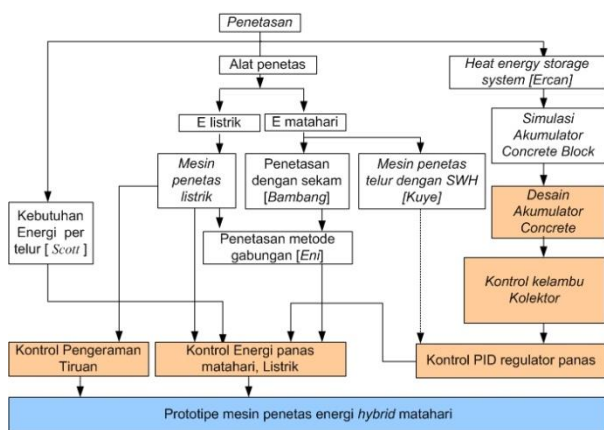
menggunakan *concrete block* sebagai material penyimpannya.

Target keempat, terwujudkannya desain prototipe mesin penetas telur energi hybrid matahari.

Mesin tersebut diperlukan masyarakat industri penetas telur unggas oleh karena kemampuan menghemat energi listrik yang abadi. Selain masyarakat, ekonomi makro negara Indonesia akan mengalami *surplus* karena penghematan pemakaian energi listrik dan dikomplemen oleh energi matahari yang *free*, abadi yang dapat menghemat biaya listrik hingga 60% per tahun.

**1.5. Penelitian Pendahulu**

Gambar 1.1. memaparkan studi sebelumnya dan hubungannya dengan studi yang akan dilaksanakan.



Gambar 1.1. Road map studi

Ada tiga jalur studi yang dilaksanakan dalam *road map* studi ini, yakni energi yang dibutuhkan dalam proses penetasan, metode penetas telur dan metode penyimpanan energi panas. Ketiga jalur tersebut akan mendukung keilmuan dan teknologi sehingga didapatkan formula penggunaan energi matahari dan listrik pada mesin tetas hybrid.

Penetasan telur unggas secara alami dipengaruhi langsung oleh suhu, kelembaban, kadar oksigen, dan pematangan telur secara terus menerus hingga menetas dalam eraman sang induk unggas tersebut [Bambang].

Secara historis alat pengeraman buatan menggunakan energi matahari telah dilaksanakan di nusantara yang beriklim tropis. Prinsip penetasan adalah mempertahankan panas pada suhu antara 37°C hingga 40°C, tergantung jenis unggasnya. Untuk tujuan mempertahankan panas tersebut digunakan material sekam (*unhulled paddy*). Kontrol proses penetasan telur dilaksanakan oleh seorang yang telah memiliki keahlian secara manual.

Proses penetasan tersebut adalah operasi manual yang sangat membutuhkan keahlian akan prosedur penetasan dan konsumsi waktu

pelaksanaan cukup tinggi. Kemampuan prosentase tetas rendah, 50 - 60% [Eni].

Ada berbagai macam dan klasifikasi mesin penetas telur, diantaranya jenis sederhana dan industri. Mesin penetas telur sederhana banyak dilaksanakan di masyarakat penetas telur. Kriteria mesin sederhana tersebut mengupayakan kontrol suhu pada kisaran 37°C hingga 40°C. Energi panas yang digunakan dari pemanas (*heater*) listrik. Jumlah penetasan berkisar puluhan hingga ratusan butir telur. Nilai kemungkinan menetas berkisar 60 %– 70 % [Eni], bila listrik selalu menyala. Jenis kedua adalah mesin penetas telur industri. Mesin penetas tersebut telah memiliki kemampuan untuk meniru metode pengeraman alami. Meniru dalam konteks pengaturan suhu/hari, pengaturan kelembaban/hari, kadar oksigen/hari, pematangan telur/beberapa jam dan sudutnya disesuaikan dengan jenis unggasnya. Mesin tersebut menggunakan energi panas sepenuhnya dari listrik menggunakan *electric heater*. Kapasitas minimal 100 – 10.000 telur. Nilai kemungkinan menetas tinggi, 96%.

Oleh karena metode penetasan telur dengan sekam manual cukup mengkonsumsi waktu, rumit dan resiko kegagalan cukup tinggi, beberapa peternak memanfaatkan mesin tetas listrik sederhana pada fasa penetasan, setelah adanya listrikisasi di daerahnya. Sedang teknik sekam masih digunakan untuk fasa inkubasi. Proses metode gabungan masih tetap memiliki daya tetas rendah dibawah 80%, kemudahan sudah tercapai pada fasa penetasan, akan tetapi harga listrik menjadi keluhan karena selalu naik.

Jenis penetasan telur oleh Kuye adalah mesin penetas telur bertenaga matahari tidak bersentuhan (*non contact*), dimana material penyimpan panas tidak bersentuhan dengan telur. Mesin tersebut menyimpan energi matahari menggunakan materi air, SWH (*Solar Water Heater*). Dengan kata lain akumulator panas disimpan dalam tangki air setelah air mendapatkan panas dari kolektor cahaya matahari. Tangki didesain mampu untuk mensupply energi hingga 18 jam per hari.

Teknologi penyimpanan menggunakan air adalah teknologi mahal. Efisiensi penyimpanan energinya adalah rendah, 40%, oleh karena energi panas matahari harus dikonversikan ke energi panas air dan dipindahkan secara fisik dari kolektor ke tangki air di atasnya. Perpindahan keatas tersebut adalah sebuah loss energi berupa tekanan. Selain itu, cukup banyak energi yang menjadi tekanan uap yang sengaja dibuang karena over pressure [Kuye].

**2. Metodologi Studi**

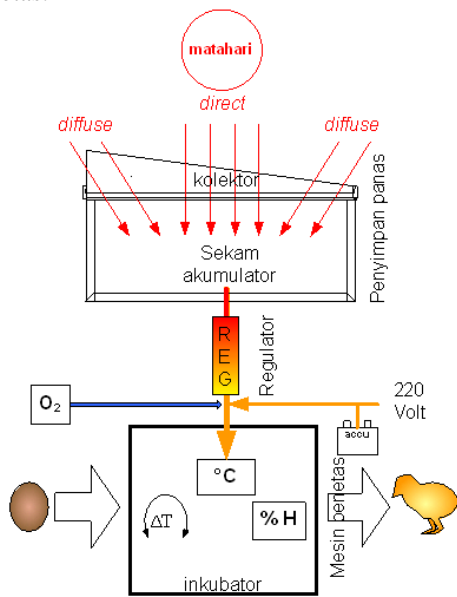
Secara umum metode studi ini adalah studi pustaka untuk desain alat; dan studi empiris untuk pendataan, analisa, kesimpulan dan prototipe. Data dukung didapatkan dari penelitian pendahulu. Aliran keilmuan, teknologi dan studi untuk

mewujudkan mesin penetas pada proposal ini mengikuti road map sebagai mana Gambar 1.1.

**Metode Akumulator yang diusulkan**

Secara keseluruhan, studi mendukung terwujudkannya mesin penetas telur yang bertenaga matahari dan berunjuk kerja sebagai pengeraman tiruan. Mesin tersebut terbagi dalam dua unit utama, yakni penyimpan panas matahari dan mesin penetas, sebagaimana Gambar 2.1.

Penyimpan terbagi dalam dua bagian utama, kolektor terletak dibagian teratas sebagai penerima energi matahari; dan akumulator sebagai wadah sekam penyimpan energi panas. Unit kedua, mesin penetas adalah bejana dimana telur telur calon tetas mendapat perlakuan pengeraman tiruan hingga menetas.

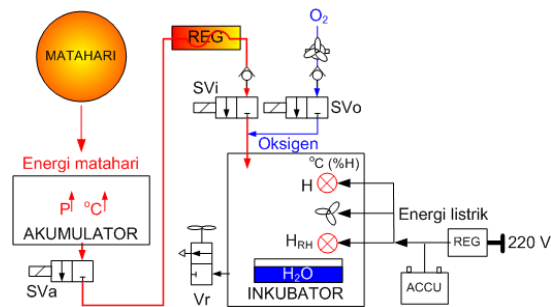


Gambar 2.1. Usulan desain prototipe sistim teknologi mesin penetas hybrid matahari

**3. Hasil Studi**

**3.1. Simulasi Akumulator Panas Matahari**

Studi awal berupa simulasi akumulasi energi panas matahari dalam akumulator dengan flat kolektor yang dapat dibuka tutup sebagaimana intensitas cahaya lingkung dalam upaya mempertahankan energi tetap terperangkap di dalam akumulator.



Gambar 3.1. Blok Model Simulasi Energi pada Sistem Mesin Tetas Hybrid

Simulasi dilaksanakan dalam Simulink Matlab, sebagaimana Gambar 3.1. dengan melibatkan parameter sebagaimana Tabel 1., 2. dan 3. pada studi subbab 3.2.

**3.2. Parameter parameter heat capacity concrete block**

Tujuan studi ini adalah untuk menemukan parameter parameter heat capacity concrete block. Penemuan ini sangat penting artinya dalam optimasi dan kalkulasi desain penyimpan energi matahari. Metode pengukuran specific heat capacity concrete block mengikuti metode yang dilaksanakan oleh Hosahalli, akan tetapi energi yang diaplikasikan adalah energi matahari langsung, sebagaimana ekspresi persamaan 1)

$$C = \frac{\delta E_m}{\delta T / m}$$

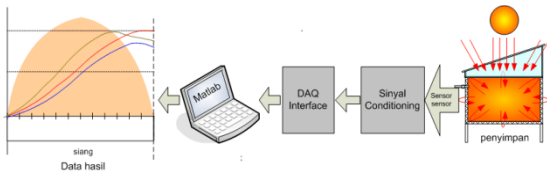
1)

Adapun studi empirik meliputi parameter dari persamaan 15 – 24, sebagaimana tabel 1.

Tabel 1. Parameter Kolektor Akumulator

Variabel	Parameter Matlab	
$\Delta T$ Perubahan suhu	$T_a = T_s$ $\Delta T_a = T_{a_1} - T_{a_0}$	2) 3)
$E_m$ Energi matahari $D_m = \text{Daya matahari}$	$D_m = I_m / 1000 \text{ lux}$ $E_m = \int_{t_0}^{t_1} D_m dt$	4) 5)
$C_{s \text{ raw}}$ specific heat capacity concrete block	$C_{s \text{ raw}} = \frac{\int_{t_0}^{t_1} D_m dt}{\Delta T_s} / m_s$	6)
$E_{a \text{ raw}}$ Energi tersimpan	$E_{a \text{ raw}} = m_s C_{s \text{ raw}} \Delta T_s$	7)
$\eta_p$ Efisiensi penyimpanan panas	$\eta_p = \frac{E_a}{E_m}$	8)
$C_s$ specific heat capacity concrete block	$C_s = C_{s \text{ raw}} \eta_p$	9)
$\Delta P$ Perubahan Tekanan	$\Delta P_a = P_{a_1} - P_{a_0}$	10)
c koefisien udara akumulator	$c = \frac{\Delta P_a V_a}{\Delta T_a}$	11)

Persamaan 15) – 24) pada tabel diatas, akan dibaca dengan program matlab yang terhubung langsung ke sensor sensor pada penyimpan melalui DAQ interface untuk mendapatkan data dan grafik untuk analisa. Studi ini juga untuk mendapatkan Specific energi capacity concrete block matahari (KWj/m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>). Metode pengukuran empiris yang diaplikasikan sebagai Gambar 3.2.



Gambar 3.2. Pengukuran data parameter specific heat capacity concrete block

**3.3. Analisa parameter penyimpanan panas akumulator**

Analisa perhitungan oleh data aqisisi Matlab tabel satu akan memberikan harga Efisiensi kolektor dan akumulator, sebagaimana Tabel 2.

**Tabel 2. Parameter Efisiensi**

Kapasitas penyimpanan panas concrete block	Matlab		DAQ+Sensor elektronik
Efisiensi kolektor ( $\eta_k$ )	$\eta_k = \frac{E_a}{E_m}$ , $m_s = 0$	12)	$E_a = I_a =$ sensor cahaya akumulator (lux)
Efisiensi akumulator ( $\eta_a$ )	$\eta_a = \frac{\eta_p}{\eta_k}$	13)	

Parameter keseluruhan penyimpanan panas matahari sebagian telah didapatkan pada Tabel 1). Sebagai kelengkapan keseluruhan parameter perlu didapatkannya Efisiensi kolektor dan akumulator persamaan 25) dan 26). Adapun metode pengukuran sama sebagaimana Tabel 1), kecuali akumulator dalam keadaan kosong dari concrete block.

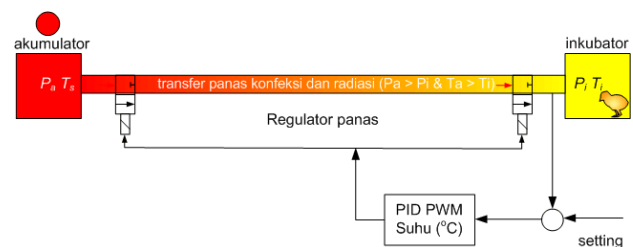
**Tabel 3. Parameter Charge, saving dan discharge rate**

	charging	saving	discharging
	$dt : t_0 \rightarrow t_1$	$dt : t_1 \rightarrow t_2$	$dt : t_2 \rightarrow t_3$
Energi rate concrete block	$Se_{chg} = \frac{m_s C_s (T_1 - T_0)}{dt}$	14) 15)	$Se_{chg} = \frac{m_s C_s (T_3 - T_2)}{dt}$
Temperature rate concrete block	$St_{chg} = \frac{T_1 - T_0}{dt}$	16) 17)	$St_{dis} = \frac{T_3 - T_2}{dt}$
Energi loss rate akumulator		$Sa_{chg} = \frac{m_s C_s (T_2 - T_1)}{dt}$	18)
Thempatur loss rate akumulator		$Sa_{chg} = \frac{T_2 - T_1}{dt}$	19)

Pada studi 2), selain mendapatkan efisiensi kolektor dan akumulator diperlukan adanya penemuan charge rate, discharge rate dan losslessness ( persamaan 14) – 19)) dari penyimpanan panas concrete block, sebagaimana Tabel 3. Metode pengukuran sebagai mana studi 1), kecuali ekpresi persamaan di program matlab mengikuti persamaan 2) – 13) dan lama pengukuran 24 jam.

**3.4. Studi Kontrol PID regulator panas**

Studi control driving regulator secara elektronik dilaksanakan dengan metode control PID untuk mempertahankan stabilitas suhu incubator (37 °C – 40,2 °C) dari akumulator yang cukup tinggi (40 °C – 80 °C). Sebagaimana metode regulasi panas pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3. Metode regulasi panas PID PWM.

Tekanan udara (Pa) hasil pemanasan dalam ruang akumulator dimanfaatkan sebagai energi pendorong. Dengan memanfaatkan fasilitas dua buah selenoid valve yang dikendalikan langsung oleh switching PWM (Pulse Width Modulation). Lebar turn on valve di kontrol oleh PID berdasarkan setting dan feed back suhu incubator melalui PWM.

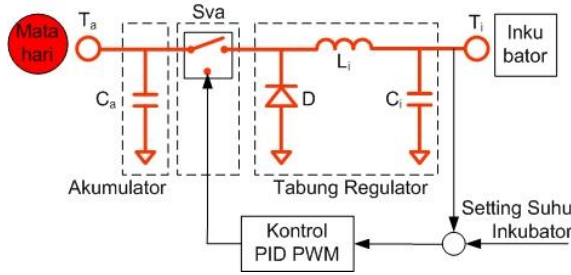
Panjang pipa regulator akan berfungsi sebagai akumulator panas sehingga pada ujung outlet Ti didapatkan suhu incubator sebagaimana setting. Adapun ekpresi kontrol suhu stabilitas incubator (Ti) oleh mikroprosesor dalam PID adalah :

$$u(t) = Kp.T_i(t) + Ki \int_0^t T_i(t)dt + Kd \frac{dT_i}{dt} \quad (20)$$

Diketahui, Kp= penguatan Proportional  
Ki = penguatan Integral  
Kd= penguatan Differential

**3.5. Metode Buck Converter untuk Regulator panas**

Regulasi suhu tinggi akumulator dilaksanakan dengan metode Buck Converter. Aliran energi udara panas dari akumulator yang cukup tinggi, Ta (40 °C – 120 °C) diturunkan dan dipertahankan suhunya untuk incubator yang bersuhu rendah , Ti (37 °C – 41 °C). Sebagaimana metode regulasi panas tersebut pada Gambar 3.4.



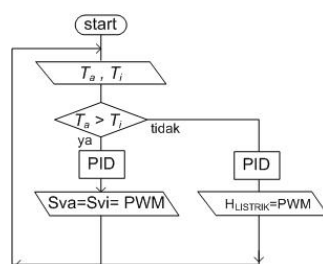
Gambar 3.4. Regulator panas *Buck Converter*.

Gambar 3.4., menunjukkan rangkaian buck konverter yang mana rangkaian tersebut diimplementasi kan ke energi suhu panas selain energi listrik.  $T_a$  berkorelasi dengan suhu panas dari akumulator. Capacitor akumulator ( $C_a$ ) berkorelasi sebagai akumulator panas. Valve ( $S_{va}$ ) berfungsi sebagai pembuka dan penutup aliran udara panas dari akumulator yang dikontrol secara elektronik oleh Kontrol PID PWM berdasarkan permintaan suhu setting untuk inkubator. Sedang dioda ( $D$ ), induktor ( $L_i$ ) kapasitor induktor ( $C_i$ ) merupakan model tabung regulator. Tabung regulator berfungsi untuk memperangkap aliran energi panas dengan balansing  $L_i$  dan  $C_i$  sehingga suhu rendah output inkubator ( $T_i$ ), akan didapatkan ( $37\text{ }^\circ\text{C} - 41\text{ }^\circ\text{C}$ ) sebagaimana setting. Energi panas tinggi akan diakumulasi oleh kapasitor menuju Dioda berputar menuju Induktansi dan kapasitor untuk di simpan ulang. Proses ini mengakibatkan output panas ( $T_i$ ), akan menurun dan stabil sesuai dengan kapasitas *root mean square* dari switcing panas akumulator

**3.6. Studi Kontrol *switching* energi panas**

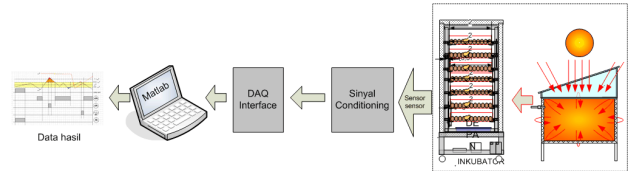
Gambar 3.5. *Switching* energi untuk supli panas inkubator ( $T_i$ ) diutamakan pada pemakaian energi panas akumulator ( $T_a$ ), sedang energi listrik 220V PLN sebagai cadangan setelah dikonversi ke panas oleh heater ( $H$ ).

Sedang algoritma logika *switching* dapat divisualisasikan pada Gambar 3.8. Flowchart tersebut dapat didiskripsikan sebagai berikut: Apabila Suhu akumulator ( $T_a$ ) lebih besar dari suhu input inkubator ( $T_i$ ) (suhu setting penetasan), maka Switch valve akumulator ( $S_{va}$ ) dan input ( $S_{vi}$ ) aktif. Sebaliknya, apabila ( $T_a < T_i$ ), maka heater listrik ( $H_L$ ) aktif.



Gambar 3.5. Kontrol *Switching* energi oleh mikroprosesor.

Metode pengukuran pada akhir seluruh studi tercapai adalah studi pengukuran unjuk kerja total system menggunakan matlab, sebagaimana Gambar 3.6.



Gambar 3.6. Pendataan unjuk kerja system penetasan *hybrid*.

**3.7. Energi panas yang dibutuhkan telur untuk menetas.**

Pada bagian kiri Gambar 2.1. Energi panas matahari yang dibutuhkan untuk menetas telur dipengaruhi langsung oleh kebutuhan energi sebuah telur unggas tertentu untuk menetas. Adapun energi panas yang dibutuhkan oleh sebuah telur adalah [Scott]:

$$\delta Q = \delta T C \tag{21}$$

Diketahui:

$\delta T$  = perubahan suhu telur ( $^\circ\text{K}$ )

$\delta Q$  = kuantitas panas tertambahkan ke telur(J)

$C$  = *specific heat capacity* telur ( $\text{J}/^\circ\text{K}$ )

Bahwa peningkatan suhu,  $\delta T$ , dipengaruhi langsung oleh kebutuhan energi panas sebuah telur,  $\delta Q$ , dan angka *specific heat capacity* telur

$$C = M c \tag{22}$$

Diketahui:

$C$  = *specific heat capacity* telur ( $\text{J}/^\circ\text{K}$ )

$M$  = masa telur ( $\text{Kg}$ )

$c$  = *specific heat* telur ( $\text{J}/^\circ\text{K}$ ) =  $3.3\text{ kJ}/^\circ\text{K}/\text{Kg}$

Contoh dalam perhitungannya sebutir telur ayam ras membutuhkan daya penetasan rata rata  $202\text{ mWatt}$  [Lourens].

**3.8. Metode penyimpanan energi panas.**

Pada jalur kanan Gambar 2.1., beberapa metode penyimpanan panas matahari telah di publikasikan. *Ercan* pada artikelnya menyebutkan adanya tiga cara penyimpanan energi panas, satu diantaranya adalah *dry material*. Pada studi ini metode penyimpanan energi panas matahari dengan material kering, menggunakan *concrete block* bukan air maupun cairan lain. Kemampuan menyimpan energi (*Joule*) suatu material per gramnya pada perubahan suhu  $T_1$  ke  $T_2$  ditentukan oleh *specific heat capacity* dari bahan penyimpan panas tersebut, sebagaimana ekspresi persamaan 1).

$$E = m \int_{T_1}^{T_2} C_p \Delta T \tag{23}$$

Diketahui:

$E$  = energi tersimpan (Joule)

$m$  = massa material (gram)

$C_p$ = specific heat capacity material (J/gram/°K)  
 $\Delta T$ = perubahan temperatur  
 [Ercan, Frank, George, Marc]

**3.9. Specific heat capacity concrete block.**

Sebagai bahan penyimpan panas pada studi ini adalah *concrete block*. Dalam pencarian studi literature *specific heat capacity* bahan tersebut adalah 1130 J/Kg.K. dan *density* sebesar 2240 Kg/m<sup>3</sup> [Ercan]. Metode empiris pengukuran dan analisa Hosahalli digunakan untuk acuan mendapatkan parameter *concrete block*, yang selanjutnya digunakan untuk desain kapasitas penyimpanan eneregi panas dalam akumulator. Jurnal telah berhasil mengidentifikasi parameter sekam (*unhulled paddy*) [Hosahalli].

**3.10. Penetas telur hybrid matahari dengan akumulator udara panas.**

Berbeda dengan studi studi sebelumnya, mesin penetas pada proposal ini, memiliki ciri ciri sebagai berikut.

1. metode penyimpan adalah konversi energi sinar matahari ke udara panas, sehingga efisiensi tinggi, 70% – 80 % [Ercan].
2. metode kolektor adalah sekaligus akumulator, sehingga *loss energi* rendah dan tidak ada energi transfer diantaranya.
3. metode penyimpanan energi matahari menggunakan material kering, sehingga diharapkan kapasitas simpan energi besar, dan teknologi mudah dan murah.
4. metode pengumpulan energi menggunakan buka tutup kelambu kolektor datar untuk mempertahankan energi tersimpan dalam akumulator dengan menggunakan kontrol mekatronika.
5. metode *kontrol elektronik switching* antara energi panas matahari dan listrik, sehingga kontinyuitas proses penetasan terjamin.

**3.11. Parameter energi panas matahari untuk mesin penetas**

Periode penyimpanan energi adalah per hari, sebagaimana siklus matahari. Penyimpanan berkemampuan untuk mengakumulasi energi cahaya *infra red* matahari yang diterima oleh luasan kolektor selama siang hari sehingga energi panasnya dapat mensupli mesin penetas ber kapasitas xxxx telur selama xx hari dapat terpenuhi. Pemenuhan tersebut ditentukan oleh luasan penangkapan sinar matahari oleh kolektor dan volume kapasitas simpan energi panas oleh akumulator sekam.

Energi matahari memiliki daya 1KW/m<sup>2</sup> rata-rata dipermukaan bumi [Andreev, Hoseein]. Dan wilayah Indonesia memiliki energi matahari 5 KWh/hari/m<sup>2</sup> rata rata pertahun. Energi yang disiapkan adalah sejumlah energi yang dibutuhkan oleh inkubator. Sedang energi panas inkubator

ditentukan oleh berapa jumlah telur yang akan diletakkan.

**Energi inkubator:**

$$E_i = 24P_t J_t / \eta_i \tag{24}$$

$E_i$  = Energi inkubator per hari (Watt jam)  
 $P_t$  = Daya yang dibutuhkan sebutir telur unggas tertentu (Watt)  
 $J_t$  = Jumlah telur dalam inkubator  
 $\eta_i$  = efisiensi inkubator

**Energi akumulator concrete block:**

$$E_a = 1.5E_i, \tag{25}$$

akumulator disiapkan untuk energi 1 ½ hari

$$E_a = m_s C_s \Delta T / \eta_a \tag{26}$$

$E_a$  = energi akumulator selama 1 ½ hari (KWj)  
 $m_s$  = masa *concrete block* (kilogram)  
 $C_s$ =specific heat capacity *concrete block* (KJ/Kg/°K) **studi1**

$\Delta T$ = perubahan suhu

$\eta_a$  = efisiensi akumulator

**Spesifikasi concrete block:**

Spesific heat capacity *concrete block* 1,3 -- 2 KJ/Kg/°K

Konduktifitas panas *concrete block* = 0.271 BTU (0.0794 watt jam)

Bulk dencity *concrete block* (BD<sub>s</sub>)= 125 kg/m<sup>3</sup>

**Volume akumulator concrete block:**

$$E_a = m_s C_s \Delta T / \eta_a \tag{27}$$

$$m_s = E_a \eta_a / C_s \Delta T \tag{28}$$

$$V_s = m_s / BD_s \tag{29}$$

$V_s$  = Volume *concrete block* (m<sup>3</sup>)

BD<sub>s</sub>= bulk dencity *concrete block* (125Kg/m<sup>3</sup>)

**Luas Kolektor:**

$$E_k = E_i \tag{30}$$

$$E_k = L_k D_m \Delta t / \eta_k \tag{31}$$

$$L_k = E_a \eta_k / D_m \Delta t \tag{32}$$

$L_k$  = luas tangkapan cahaya matahari (m<sup>2</sup>)

$E_a$  = energi akumulator selama 1 ½ hari (KWj)

$D_m$ = Daya matahari per meter<sup>2</sup>

$\Delta t$  = waktu intensitas 80% I<sub>m</sub> peak (jam)

$\eta_k$  = efisiensi kolektor

[Sukhatme]

**3.12. Fisika kolektor, akumulator, regulator panas dan inkubator**

Gambar 2.4. **Kolektor** secara fisik adalah ruang kaca vacum yang dapat ditembus oleh cahaya. Ruang vacum tersebut ditujukan sebagai isolator panas untuk akumulator dibawahnya. Cahaya yang dapat diterima tidak hanya direct solar light tetapi juga cahaya diffuse ( semua cahaya di langit selain sinar matahari langsung). Desain tersebut mengikuti metode *Flat colector*.

**Suhu panas dalam Flat Colector.** Dalam sistem greenhouse, energi sinar matahari masuk dalam ruang kaca tertutup, sehingga energi tersebut

menjadi energi panas dan terperangkap didalamnya. Suhu dalam sebuah green house dapat dihitung berdasarkan data hasil pengukuran. Hubungan antara daya sinar matahari dengan suhu efektif dapat diekspresikan sebagai rumus berikut [Ferenis].

$$S(1-\alpha)\pi R^2 = \sigma T_e^4 4\pi R^2, \quad (33)$$

Diketahui:

S = Daya Matahari W/m<sup>2</sup>

R = radius bumi

α = albedo,

T<sub>e</sub> = Suhu efektif, sehingga didapatkan

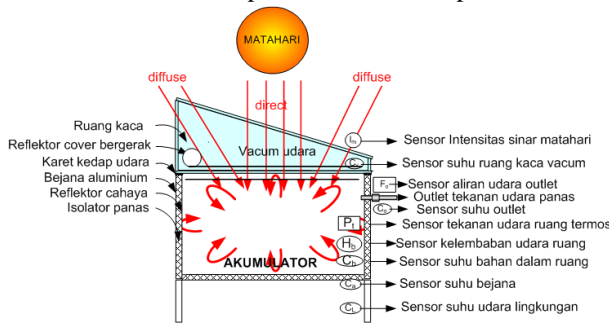
persamaan,

$$T_e = \left[ \frac{S(1-\alpha)}{4\sigma} \right]^{\frac{1}{4}} \quad (34)$$

Diketahui

σ = 5.670373(21) × 10<sup>-8</sup> W m<sup>-2</sup> K<sup>-4</sup> (Konstanta Boltzman)

Bejana **akumulator** berisi *concrete block* dengan desain kemampuan tekanan udara 1,2 bar. Bejana tersebut seluruh permukaannya berlapis isolator panas, kecuali bagian atasnya adalah kaca berkemampuan tekanan 4 bar pula.



Gambar 3.7. Penyimpan energi panas: kolektor dan akumulator.

Panas pada dasarnya adalah sinar infra red, sehingga dalam perlakuan transfer panas melalui media udara dikenal adanya sifat konduksi dan radiasi. Secara konduksi, akumulator, pipa transfer (*host*) dan inkubator dilapisi bahan isolator panas. Sedangkan secara radiasi semua bejana dan pipa dilapisi lembar *reflektor* cahaya.

Desain mekanis akumulator mengikuti kaidah koefisien hukum udara.

$$C = PV/T \quad (35)$$

C = coefficient

P = tekanan udara

V = volume bejana

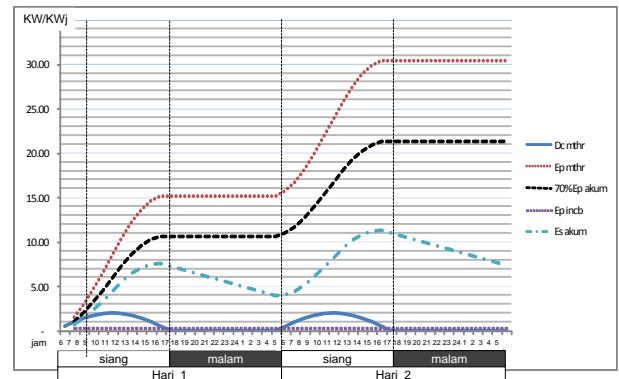
T = suhu

Mengingat volume bejana adalah tetap, sedang akumulasi suhu didalamnya meningkat oleh panas matahari dari kolektor, maka terjadi peningkatan tekanan udara.

### 3.13. Hasil Perhitungan Kapasitas

Akumulasi energi matahari setiap hari, dengan periode kemunculan sinar matahari di siang hari,

dan gelapnya malam yang tiada energi di luar akumulator dapat divisualisasikan pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8. Akumulasi Energi Panas Kolektor

Gambar 3.8. Garis **Dc mthr** (Daya cahaya matahari), menunjukkan keberadaan daya matahari yang diterima oleh kolektor 2 m<sup>2</sup>. Pada siang hari, mulai jam 06:00, matahari bersinar menjadi sangat terang (dengan daya maksimal = 1 KW/m<sup>2</sup>) pada jam 12:00 secara sinusoidal, dan menurun intensitasnya hingga jam 18:00. Mulai jam 18:00 tersebut langit (zenit) berintensitas 0 (0 KW) atau gelap. Garis **Ep mthr** (Energi panas matahari) merupakan akumulasi total energi matahari yang diterima oleh permukaan kolektor terhadap waktu, dari 0 KWh pada jam 06:00 hari pertama hingga jam 18:00 hari kedua. Sedangkan, garis **70% Ep akum** menunjukkan akumulasi energi panas yang terserap oleh bahan penyimpanan panas dalam akumulator sebesar 70% dari Ep mthr. Energi panas dalam akumulator diumpungkan ke inkubator yang membutuhkan 0.3 KW energi panas perjamnya (kapasitas 1000 telur), energi tersebut ditunjukkan oleh garis **E incb**. Dari energi yang tersedia oleh 70% Ep akum dan energi terserap oleh E incb, maka fluktuasi energi dalam akumulator merupakan selisih akumulasi pemakaian yang ditunjukkan oleh garis **E akum**. Ada ritme fluktuasi energi E akum yang meningkat perharinya, batasan tersebut ditentukan oleh besarnya kapasitas bahan penyerap energi panas dalam akumulator. Sehingga pada hari ke tiga dan seterusnya energi maksimal dalam akumulator sebesar 12 KWh.

### 4. Kesimpulan

1. Hasil perhitungan kapasitas energi akumulator panas menunjukkan kemampuan energi satu hari untuk dua hari supli energi inkubator 1000 DOC pada musim kemarau.
2. Pelaksanaan simulasi akan memberikan gambaran lebih detail tentang sinergi parameter terlibat.
3. Penelitian empiris dengan pembacaan menggunakan DAQ dan program Matlab perlu dilaksanakan.