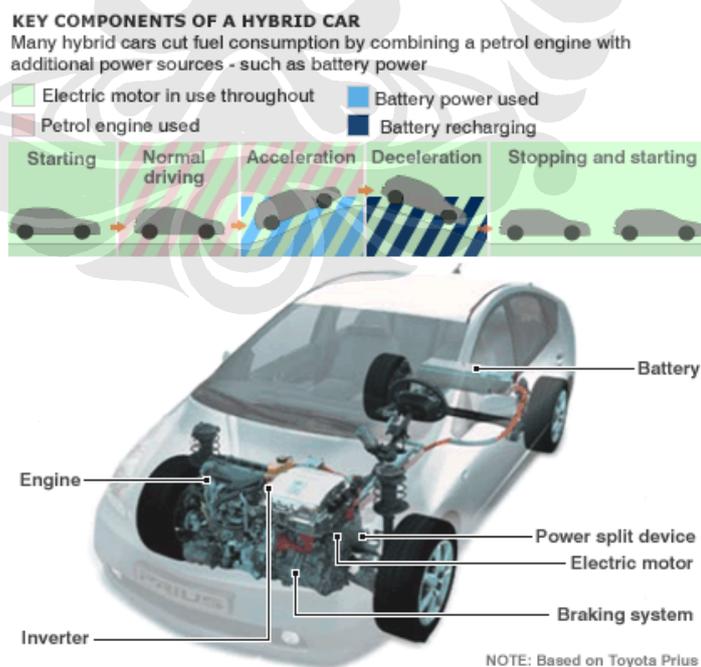


## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 SISTEM *HYBRID*

Mesin pendorong mobil berteknologi *hybrid* memiliki dua mesin yang berbeda yaitu memiliki satu unit mesin bensin atau diesel dan sebuah mesin elektrik atau bisa disebut juga generator. Mesin utama yang digunakan adalah mesin bensin atau diesel. Namun ukurannya relatif kecil dan memiliki tenaga yang lebih kecil dibandingkan mesin mobil normal. Ketika mesin bensin/diesel bergerak dengan putaran mesin yang relatif tinggi atau berlebih saat itu pula mesin elektrik merubah energi dari perputaran mesin yang relatif tinggi atau berlebih menjadi energi listrik dan selanjutnya disimpan di sebuah baterai khusus. Energi yang berlebihan ini timbul dari mesin bensin/diesel.



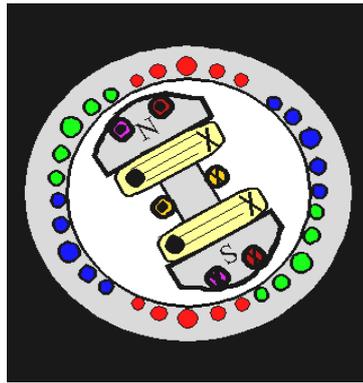
Gambar 2.1 Komponen utama mobil *hybrid*

Sebagai contoh yaitu pergerakan mobil pada jalan yang datar. Mesin *hybrid* memanfaatkan energi gerak yang dihasilkan oleh mesin bensin/diesel. Hal ini terjadi apabila pengemudi melepaskan pedal gas dan ketika menginjak pedal rem. Hal ini bisa disebut *renewable energy* atau energi yang dapat didaur ulang atau dapat digunakan kembali. Apabila energi yang telah tersimpan di baterai sewaktu-waktu diperlukan secara otomatis maka energi yang tersimpan ini langsung di salurkan ke mesin elektrik dan kemudian dari mesin elektrik ini diubah menjadi energi gerak. Misalnya ketika mobil dalam keadaan menanjak atau ketika mobil ingin mendahului.

Mesin *hybrid* dapat di juluki mesin yang dapat berpikir. Misalnya ketika menunggu di persimpangan jalan atau lampu merah, mesin bensin/diesel secara otomatis akan mati. Mesin bensin/diesel juga akan mati ketika pengereman dan ketika mesin tidak melakukan pembakaran/kompresi. Mobil *hybrid* tidak memerlukan tempat untuk pengisian baterai seperti telepon genggam, karena baterai akan diisi secara otomatis oleh mesin elektrik. Kedua mesin ini dapat bekerja sama dengan bantuan komputer dan sensor yang telah diprogram berdasarkan kebutuhan. Mobil *hybrid* adalah mobil ramah lingkungan dan hemat energi.

### **2.1.1 Mesin Elektrik**

Apabila kita membandingkan kendaraan bermesin *hybrid* dan kendaraan bermesin bensin/diesel tentu perbedaan yang mencolok yang dapat kita lihat langsung adalah dari jenis mesin yang ada di kendaraan tersebut. Mesin *hybrid* yang ada pada saat ini adalah mesin elektrik yang memiliki kumparan tembaga di dalamnya. Kumparan ini di lilitkan ke campuran besi khusus sehingga pada waktu kumparan ini dialiri muatan atau arus listrik, besi tersebut dapat berubah menjadi medan magnet sehingga dapat mempengaruhi perputaran benda lainnya yang terbuat dari bahan besi. Mesin ini disebut dengan nama *synchronous machine*.



(a)



(b)

Gambar 2.2 (a) Ilustrasi gambar mesin elektrik (b) gambar mesin elektrtik

Bagian yang melintang (berputar/rotor) terdiri dari 3-phase dan 2 jenis kutub magnet yang berbeda. Bagian stator (bagian yang terluar berbentuk lingkaran) terdiri dari 3 kumparan tembaga yang berbeda beda susunannya (merah,hijau,biru) apabila diaminati lebih jauh, pada bagian rotor juga terdapat 1 kumparan (yang terlihat pada bagian bawah kutub magnet di gambar tertera S/selatan dan N/utara). Ada 1 buah kumparan (*damper winding*) lagi di tengah-tengah rotor (kuning) dan 2 buah kumparan (*damper winding*) yang terdapat pada permukaan/bagian kutub magnet (merah tua&ungu).

Kumparan (*damper winding*) dalam contoh gambar ini merupakan tempat di mana tegangan listrik di salurkan supaya mesin elektrik dapat berfungsi/berputar dalam bidang lain biasanya *synchronous machine* dikenal sebagai *generator* atau penghasil listrik. *Synchronous machine* ini dapat berputar karena perbedaan kutub magnet dan perbedaan arus listrik yang terdapat di susunan kumparan kumparan yang berbeda.

## 2.1.2 Modus Pada Sistem Hybrid

### 2.1.2.1 Konvensional Modus

Pada kondisi ini kendaraan melakukan percepatan hanya dengan bantuan mesin diesel/bensin. Biasanya pada kondisi seperti ini mesin elektrik yang berfungsi sebagai penggerak roda dalam kondisi tidak aktif (mati). Pada phase ini kendaraan menggunakan sumber energi dari bensin/solar.

#### *2.1.2.2 Elektrik modus*

Kendaraan mendapatkan gaya dorong hanya dari mesin elektrik, oleh karena itu kendaraan dalam kondisi ini tidak mengeluarkan emisi gas buang (polusi) dan kendaraan dalam kondisi ini juga tidak mengeluarkan suara. Dalam phase ini mesin elektrik mendapatkan suplai energi dari energi listrik yang tersimpan di baterai.

#### *2.1.2.3 Boosten modus*

Kendaraan mengalami percepatan dengan bantuan kedua mesin baik mesin elektrik maupun mesin bensin/diesel. Mesin elektrik mendapatkan sumber energi dari energi listrik yang tersimpan di baterai. Pada kondisi ini jelas percepatan kendaraan lebih efisien dibandingkan dengan mesin kendaraan konvensional biasa (kendaraan yang ada pada saat ini) karena konsumsi bensin pada saat mengalami percepatan tidak sebanyak pada mesin kendaraan konvensional.

#### *2.1.2.4 Energy Recovery modus*

Pada saat pengemudi melakukan pengereman (pengereman dengan bantuan mesin elektrik yang berfungsi sebagai generator), energi gerak akan dirubah menjadi energi listrik dan kemudian energi listrik disimpan langsung di baterai. Oleh karena itu sebagian besar energi gerak tidak berubah menjadi panas. Pengereman pada kendaraan hybrid tidak hanya menggunakan rem (tromol/cakram) saja melainkan dengan bantuan mesin elektrik yang berfungsi juga sebagai generator pada saat melakukan pengereman, oleh karena itu penggunaan kampas rem bisa di bilang lebih hemat dan juga dapat mengurangi debu yang timbul dari partikel-partikel kampas rem.

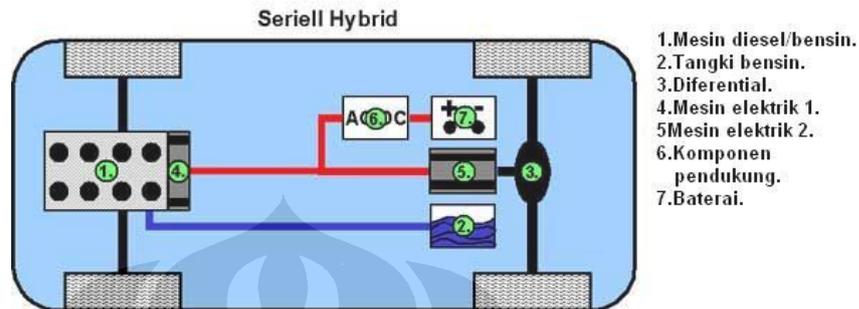
#### *2.1.2.5 Energy saving modus*

Mesin bensin/diesel bekerja dengan perputaran mesin yang tinggi, namun energi terbagi menjadi dua. Sebagian besar ke roda-roda kendaraan dan sebagian kecil energi menggerakkan mesin elektrik yang berfungsi sebagai generator dan pada kondisi ini mesin elektrik menghasilkan energi listrik yang kemudian di simpan di dalam baterai.

### 2.1.3 Tipe Sistem Hybrid

#### 2.1.3.1 Seriell-Hybrid

Gambar-gambar di bawah ini akan menjelaskan bagaimana *Seriell Hybrid* bekerja. *Seriell hybrid* memiliki sesuai nomor yang tertera di gambar.



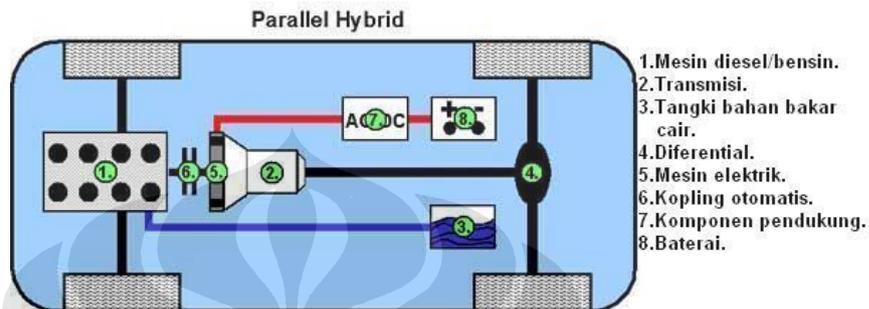
Gambar 2.3 Sistem *seriell Hybrid*

Mesin diesel/bensin pada jenis *seriell hybrid* tidak memiliki hubungan mekanik dengan roda-roda kendaraan, akan tetapi mesin bensin/diesel ini dihubungkan langsung ke mesin elektrik (no.4) agar menghasilkan energi listrik yang kemudian di salurkan ke mesin elektrik (no.5) . Jadi pada jenis *seriell hybrid* yang berfungsi sebagai mesin pendorong utama adalah mesin elektrik (no.5) Seandainya kendaraan membutuhkan daya sebanyak 50KW maka mesin elektrik yang pertama (no.5) harus menyediakan daya sebesar 50KW. Supaya energi sebesar ini dapat dihasilkan secara permanen sehingga dapat digunakan sewaktu-waktu maka mesin elektrik (no.4) yang berfungsi sebagai generator dengan perhitungan efisiensi kehilangan energi yang diakibatkan transfer energi dari mesin elektrik (no.4) ke mesin elektrik (no.5) yang berarti apabila transfer energi mengalami kehilangan energi sebanyak 5 Kw maka mesin elektrik (no.4) yang berfungsi sebagai generator minimal harus dapat menghasilkan daya sebesar 55Kw. Karena energi awal berasal dari mesin bensin/diesel yang menempel langsung dengan mesin elektrik (no.4) maka sedikitnya mesin diesel/bensin harus mampu menghasilkan daya sebesar 60KW (dengan perhitungan 5KW daya yang hilang dalam setiap perpindahan energi). Dengan kata lain mesin diesel/bensin harus menghasilkan daya yang lebih besar untuk menggerakkan kendaraan. Perjalanan energi dari mesin/diesel hingga ke roda-roda penggerak mengalami

kehilangan energi yang relatif banyak sehingga *seriell hybrid* memiliki tingkat efisiensi penggunaan energi yang kurang baik.

### 2.1.3.2 Paralel-Hybrid

Gambar di bawah menerangkan bagaimana prinsip dasar cara kerja mesin *parallel-hybrid*. Yang dapat kita lihat sesuai nomor :

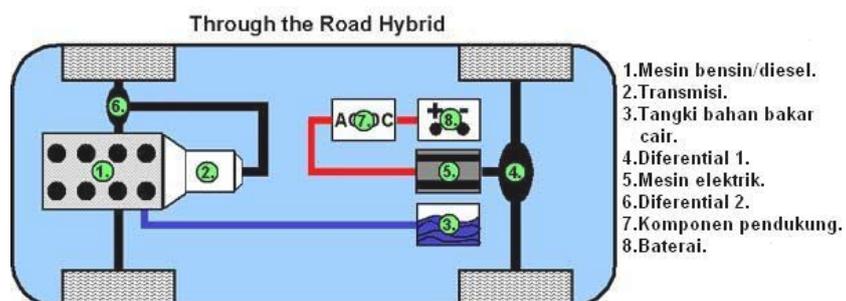


Gambar 2.4 Sistem *parallel hybrid*

Dengan bantuan kopling otomatis kita dapat memilih mode apa yang akan di gunakan selama kita mengemudikannya, apakah dengan menggunakan mesin listrik yang energinya bersumber dari baterai atau mode *energy recovery* (pengecasan baterai) tanpa menghambat perputaran mesin bensin/diesel yang berlebihan sewaktu mode *energy recovery* ini kita gunakan. Mesin elektrik dapat kita fungsikan tanpa ketergantungan mesin bensin/diesel yang berarti kita dapat bebas memilih mesin apa yang akan kita gunakan sesuai keinginan kita. Oleh karena itu mobil *hybrid* dapat dikombinasikan dengan mesin yang memiliki kapasitas 3-cylinder sampai yang berkapasitas besar 8-cylinder.

### 2.1.3.3 Through the Road-Hybrid

Gambar di bawah ini akan menjelaskan bagaimana *through the road hybrid* bekerja. Sesuai urutan nomor dalam gambar.

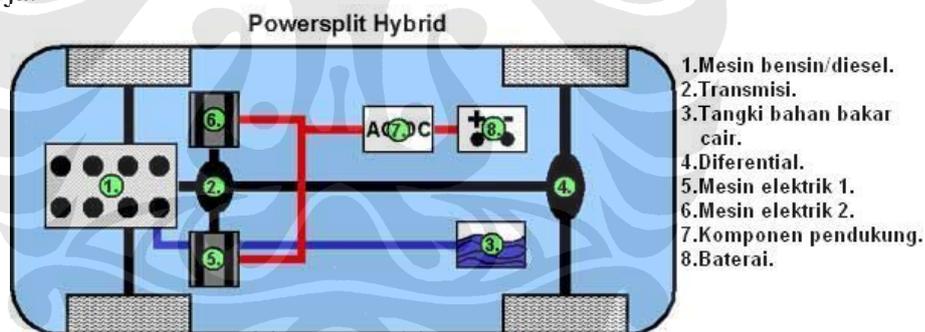


Gambar 2.5 Sistem *through the road hybrid*

*Hybrid* jenis ini dinamakan *through the road* karena salah satu penggerak poros roda berasal dari energi yang dikeluarkan mesin bensin/diesel dan poros roda satunya memiliki energi yang bersumber dari mesin elektrik. Jadi susunan mesin *hybrid* jenis ini bisa di bilang terpisah antara mesin bensin/diesel dengan mesin elektrik. Pada jenis *hybrid* ini baterai mendapatkan energi listrik yang bersumber dari mesin elektrik yang berfungsi sebagai generator pada saat kendaraan melakukan pengereman (pengereman dengan bantuan mesin elektrik). Biasanya letak mesin elektrik berada pada poros roda depan dengan alasan pada waktu pengereman berat kendaraan sebagian besar bertumpu pada poros roda bagian depan.

#### 2.1.3.4 Powersplit-Hybrid

Gambar di bawah ini akan menjelaskan bagaimana *Powersplit-hybrid* bekerja.



Gambar 2.6 Sistem *powersplit hybrid*

Susunan seperti ini dapat kita sebut sebagai *powersplit-hybrid*, karena dalam jenis seperti ini mesin bensin/diesel hanya berfungsi sebagai tenaga penggerak awal (dalam keadaan diam hingga mobil bergerak dengan kecepatan konstan). Pada jenis *powersplit hybrid* terdapat 2 jenis mesin elektrik, yang pertama berfungsi sebagai generator (no.6) dan yang kedua (no.5) sebagai mesin yang dapat membantu menyuplai tenaga dorong ke roda kendaraan sesuai kebutuhan dan dapat juga membantu mesin diesel/bensin pada saat mengalami percepatan (menambah kecepatan). [6]

## 2.2 DASAR THERMOELECTRIC

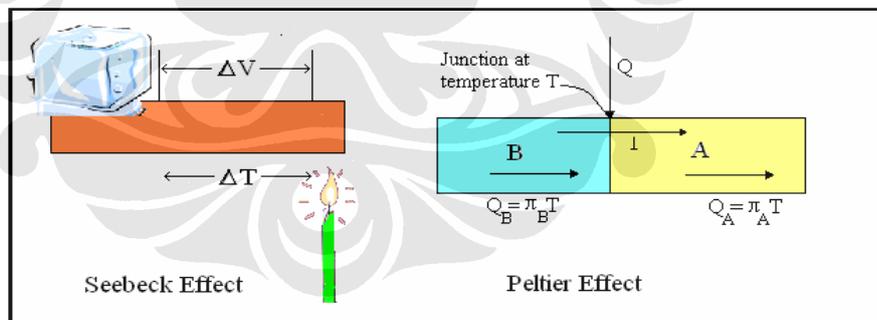
### 2.2.1 Teori Thermoelectric

Material dengan *thermoelectric properties* memiliki kemampuan untuk mengkonversi antara energi listrik dan energi panas akibat adanya *Seebeck Effect* dan *Peltier Effect*. *Seebeck Effect* berperan dalam kenaikan beda potensial akibat perbedaan temperature yang terjadi pada *junction* dengan material yang berbeda. Material tersebut memiliki *Seebeck Coefficient* yang didefinisikan sebagai :

$$\alpha = \Delta V / \Delta T \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana :  $\alpha$  = koefisien seebeck V/K  
 $\Delta V$  = beda potensial (Volt)  
 $\Delta T$  = beda temperatur (K)

Material-material yang digunakan untuk modul *thermoelectric* memiliki tipe *Seebeck Coefficient* dengan range  $200\mu\text{V/K}$ . Gambar 2.7 mengilustrasikan bagaimana *Seebeck Effect* bekerja. Perbedaan temperatur menimbulkan tegangan yang melewati material.



Gambar 2.7 Ilustrasi *Seebeck Effect* dan *Peltier Effect*

*Peltier Effect* merupakan pertukaran panas yang *reversible* yang terjadi ketika aliran arus terjadi melalui *junction* dengan dua material berbeda. Kalor  $Q$  yang dipancarkan sebagai aliran arus  $I$  dari  $A$  ke  $B$ . Peltier coefficient didefinisikan sebagai  $\pi_{AB} = Q/I$ . Kemudian,  $\pi_{AB} = -\pi_{BA}$ . Ketika berhubungan dengan *thermoelectric*, sangatlah tepat untuk menandakan  $\pi_B I$  sebagai jumlah

kalor yang mengalir ke *junction* dari material B akibat aliran arus terhadap *junction*. Kalor dapat dilepaskan atau diserap bergantung pada arah aliran. *Seebeck Effect* dan *Peltier Effect* dikaitkan dengan hubungan :  $\pi_A = T\alpha_A$ . Kedua efek ini sangatlah nyata dari *Joule resistance heating*. Karena kedua efek ini bekerja akibat *junction* dengan konduktor yang berbeda, kedua efek ini membuat *thermoelectric device* sangatlah unik dengan kemampuannya untuk mentransfer energi termal ke energi listrik dan sebaliknya.[7]

### 2.2.2 Modul *Thermoelectric*

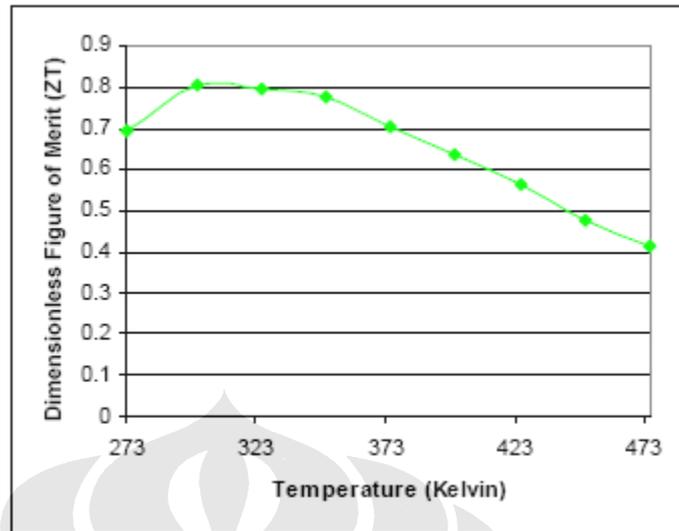
Karena ketersediaan, harga, dan temperatur operasinya, *thermoelectric*  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  sangatlah cocok untuk *waste heat recovery* sebagai *engine coolant* dan *exhaust loops*. Berikut ini adalah *properties* dari modul *thermoelectric* tipe MELCOR HT6-12-40 ( $n_{\text{couple}}=127$  dan  $G=0.121$  cm).  $G$  merupakan perbandingan Luas/Panjang. *Properties* utama, seperti yang dilaporkan oleh pembuatnya, ditunjukkan pada tabel 2.1 dibawah ini.  $G$  is the ratio of Area / Length. Modul *thermoelectric* memiliki temperatur sisi panas maksimum 225 °C.

Table 2.1 *Properties* penting untuk Modul *Thermoelectric*

T [K]	$\alpha$ [ $10^{-4}$ V/K]	$\rho$ [ $10^{-3}$ $\Omega$ -cm]	$\kappa$ [ $10^{-2}$ W/cm·K]	Z [ $10^{-3}$ 1/K]
273	1.94	0.92	1.61	2.54
300	2.02	1.01	1.51	2.68
325	2.07	1.16	1.53	2.44
350	2.10	1.28	1.55	2.22
375	2.00	1.37	1.58	1.88
400	1.96	1.48	1.63	1.59
425	1.90	1.58	1.73	1.32
450	1.86	1.68	1.88	1.06
475	1.79	1.76	2.09	0.87

Sumber : Jurnal *Opportunities For Thermoelectric Energy in Hybrid Vehicles*

## Nilai ZT untuk modul thermoelectric terhadap temperatur



Gambar 2.8 ZT untuk modul *therrmoelectric* terhadap temperatur

Gambar 2.8 menampilkan nilai bilangan tak berdimensi *Figure of Merit* (*ZT*). Seperti yang terlihat bahwa modul Bismuth Telluride memiliki maksimum *ZT* 0.8 pada 300 K. Untuk tiap-tiap modul karakteristik kelistrikan dan termal diberikan dengan persamaan berikut :

$$V_{oc} = n_{couple} \times 2 \times \alpha \times \Delta T \dots\dots\dots(2.2)$$

$$K_{mod} = n_{couple} \times 2 \times \kappa \times G \dots\dots\dots(2.3)$$

$$R_{mod} = \frac{n_{couple} \times 2 \times \rho}{G} \dots\dots\dots(2.4)$$

$V_{oc}$  adalah tegangan *open circuit* atau sirkuit terbuka yang dibangkitkan melalui modul,  $K_{mod}$  adalah total *thermal conductivity* modul,  $R_{mod}$  adalah *internal resistance* modul akibat *resistivity* dari semikonduktor *p-type* dan *n-type*. Pada temperatur 400K, *internal resistance* modul adalah 3.1 ohm dan *thermal conductivity* nya adalah 0.5 W/K. Ini tidak termasuk sambungan yang digunakan dalam modul atau *thermal* dan *electrical contact resistance*, yang mana tidak diketahui nilainya.  $\Delta T$  adalah perbedaan temperatur antara sisi panas dan sisi dingin modul *peltier*. Dari persamaan :

$$P_{gen} = I^2 R_{load} = IV \dots\dots\dots(2.5)$$

Arus sama dengan tegangan *open circuit* dibagi dengan total jumlah tahanan :

$$I = \frac{V_{oc}}{R_{mod} + R_{load}} \dots\dots\dots(2.6)$$

Aliran kalor termal yang memasuki dan keluar modul didefinisikan dengan persamaan berikut, dimana  $Q_c$  merepresentasikan kalor yang meninggalkan sisi dingin dan  $Q_h$  merepresentasikan kalor yang memasuki sisi panas. Untuk memaksimalkan daya yang dibangkitkan,  $R_{load}$  diatur hingga memiliki nilai sama dengan  $R_{mod}$ , sehingga menghasilkan :

$$Q_h = K_{mod} \Delta T + n_{couple} 2\alpha T_h I - \frac{1}{2} I^2 R_{load} \dots\dots\dots(2.7)$$

$$Q_c = K_{mod} \Delta T + n_{couple} 2\alpha T_c I + \frac{1}{2} I^2 R_{load} \dots\dots\dots(2.8)$$

Khususnya, tahap awal, *thermal conductivity* menghasilkan 70% *heat flux*. *Seebeck Effect* dan *Peltier Effect* berperan dalam 25%, dengan *Ohmic resistancemenghasilkan* sisanya yaitu 5%. *Actual generated power* atau daya actual yang dibangkitkan dari kombinasi ini ditentukan sebagai fungsi arus dan *load resistance*:

$$P_{gen} = I^2 R_{load} = \frac{V^2}{R_{load}} \dots\dots\dots(2.9)$$

Dengan mendefinisikan *thermal efficiency* sebagai perbandingan antara *electrical power* dan kalor yang memasuki sisi panas menghasilkan :

$$\eta_{TE} = \frac{P_{gen}}{Q_h} \dots\dots\dots(2.10)$$

Ketika pendekatan daya maksimum digunakan, efisiensi *thermoelectric* dapat ditulis sebagai [7] :

$$\eta_{TE} = \frac{T_h - T_c}{\frac{4}{Z} - \frac{T_h - T_c}{2} + 2T_h} \dots\dots\dots(2.11)$$

### **2.3 THERMOELECTRIC GENERATOR**

Pembangkit termoelektrik memiliki aplikasi dalam hal apapun yang menggunakan sumber panas sebagai penghasil listrik. mobil, *furnace*, dan *burner* adalah sedikit contoh dari aplikasi termoelektrik. Secara sederhana, pembangkit termoelektrik adalah suatu pembangkit yang menggunakan elemen peltier yang mengubah energy termal menjadi energy listrik. Hal ini didasari pada efek *Seebeck*. Ketika perbedaan temperature terjadi, elemen peltier ini akan mengalir arus sehingga menghasilkan perbedaan tegangan. Prinsip inilah yang akan digunakan untuk energi listrik alternative pada mobil hybrid. [8]

Modul termoelektrik dengan material dasar *Bismuth-Telluride* didesain utamanya untuk aplikasi pendinginan atau kombinasi pendinginan dan pemanasan dimana daya listrik membuat suatu perbedaan temperatur yang melewati modul. Jika aplikasi modul dibalik dimana perbedaan temperatur terjadi dimuka modul, hal ini memungkinkan terjadinya daya listrik. Walaupun daya keluarannya dan efisiensi pembangkitan sangat kecil, daya yang diinginkan dapat dicapai jika sumber panas tersedia. Suatu modul termoelektrik yang digunakan untuk pembangkit daya memiliki kesamaan dengan termokopel konvensional. [9]

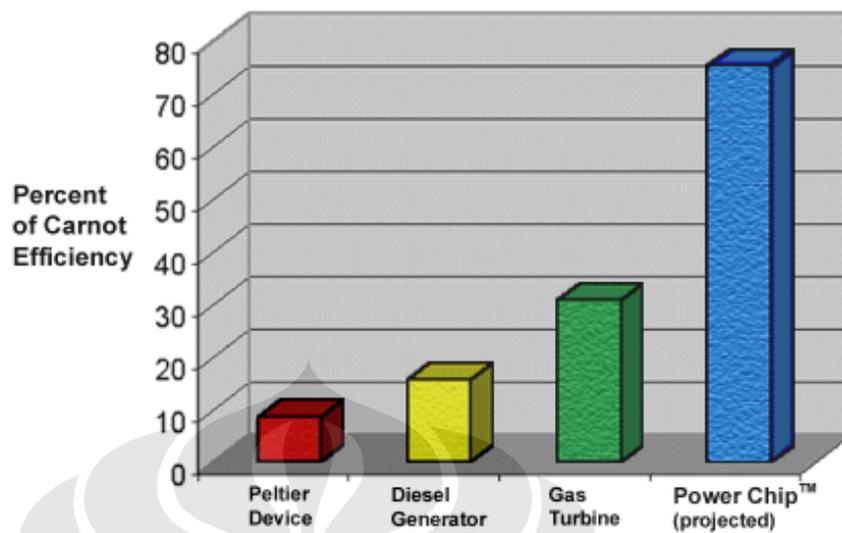
#### **2.3.1 Efisiensi *Thermoelectric Device***

Dalam aplikasi pembangkit listrik, terdapat jumlah maksimum energi yang dapat diambil. Jumlah ini adalah efisiensi karnot maksimum. Hal ini berarti perbedaan temperature yang lebih besar antara sisi panas dan dingin, maka semakin besar daya yang dapat dihasilkan.

Efisiensi karnot menggambarkan batas teoritis. Jika kita memiliki suatu mesin kalor “sempurna”, berarti mesin tersebut memiliki efisiensi karnot 100% hal ini berbeda dengan efisiensi termal, yang hamper selalu lebih kecil dari efisiensi karnot ideal.

Siklus karnot dapat dipertimbangkan sebagai siklus mesin kalor yang paling efisien. Ketika hukum kedua termodinamika menyatakan bahwa tidak semua kalor yang disuplai dalam suatu mesin kalor dapat digunakan untuk melakukan kerja, efisiensi karnot menetapkan nilai batas pada fraksi kalor yang dapat digunakan.

**Table: Carnot Efficiency**



Gambar 2.9 Perbandingan efisiensi *peltier* dengan pembangkit lainnya.

Sebagai perbandingan, pembangkit termoelektrik memiliki efisiensi karnot sekitar 5-8%. Pembangkit siklus Rankine, seperti turbin gas, memiliki efisiensi karnot sekitar 30%, sementara itu pembangkit diesel atau gasoline hanya memiliki efisiensi karnot sekitar 10-15%. Power chips diproyeksikan mencapai efisiensi karnot sekitar 70-80%, efisiensi ini adalah yang paling besar diantara pembangkit yang lainnya. [10]

### 2.3.2 Perkembangan *Thermoelectric Generator*

Saat ini banyak sekali isu-isu yang berkembang tentang masalah makin menipisnya cadangan minyak diseluruh dunia. Karena itu, untuk mengatasi permasalahan tersebut Jepang sudah mengembangkan teknologi untuk menggunakan bahan bakar alternative yaitu mobil *hybrid*.

Khusus untuk mobil hybrid menggunakan suplai listrik ,selain gasoline, untuk menjalankannya. Suplai listrik ini berasal dari baterai yang ditempatkan dibagian mobil. Sebagai tambahan suplai energy listrik dapat digunakan teknologi pembangkit termoelektrik dengan hanya sumber panas yang akan diubah menjadi energy listrik. Pembangkit termoelektrik ini sangat ramah lingkungan karena tidak menimbulkan polusi bahkan menambah efisiensi dari mobil dimana panas buang

dimanfaatkan kembali untuk suplai energy listrik. Sejumlah modul termoelektrik yang telah didesain tertentu dapat dipasang dibagian manifold mesin atau disekitar muffler. Panas buangnya lalu diubah menjadi arus DC yang akan mengisi baterai pada mobil hybrid. Suatu mesin pembakaran akan mengalami rugi sekitar 36% dari energy potensialnya dalam gasoline melalui panas yang dibuang kelingkuangan. Jadi, terdapat energy yang cukup besar dalam bentuk panas yang dapat diubah menjadi daya untuk membantu suplai listrik pada mobil *hybrid*. [11]



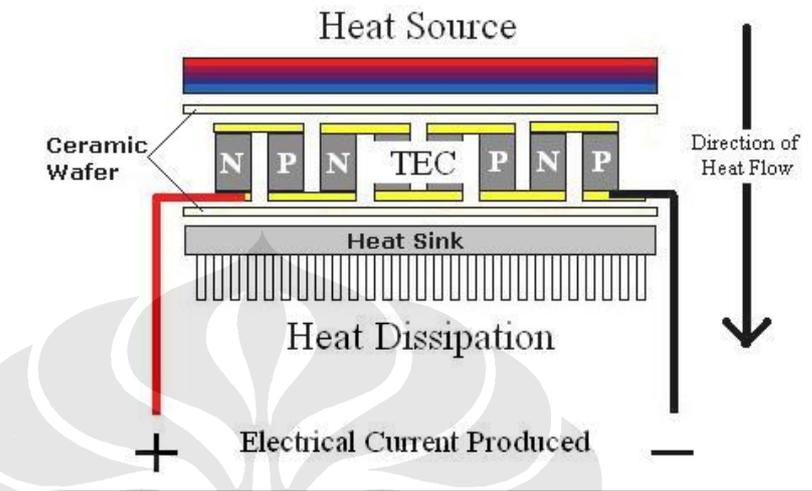
Gambar 2.10 konsep *thermoelectric generator*

*Modul termoelektrik adalah sirkuit terintegrasi dalam bentuk solid yang menggunakan tiga prinsip termodinamika yang dikenal sebagai efek Seebeck, Peltier dan Thompson. Konstruksinya terdiri dari sepasang material semikonduktor tipe-p dan tipe-n yang membentuk termokopel yang memiliki bentuk seperti sandwich anatar dua wafer keramik tipis.*



Gambar 2.11 Elemen *peltier*

Termoelektrik di atas dihubungkan secara listrik dalam seri dan paralel secara termal. Modul ini dapat digunakan untuk menghasilkan panas dan dingin dimasing-masing sisinya jika arus listrik digunakan atau untuk menghasilkan listrik ketika panas dan dingin digunakan sebagai perbedaan temperaturnya.



Gambar 2.12 prinsip kerja *thermoelectric generator*

Sejumlah arus dihasilkan berdasarkan perbedaan temperatur antar kedua sisi modul. Heat sink digunakan untuk membantu meningkatkan pelepasan kalor pada sisi dingin sehingga meningkatkan efisiensi dari modul tersebut. Potensi pembangkitan daya dari modul termoelektrik tunggal akan berbeda-beda tergantung pada ukurannya, konstruksinya dan perbedaan temperaturnya. Perbedaan temperature yang makin besar antara sisi panas dan sisi dingin modul akan menghasilkan tegangan dan arus yang lebih besar. Modul-modul termoelektrik dapat juga disambungkan bersama baik secara seri ataupun paralel seperti baterai untuk menghasilkan tegangan atau arus. Tiap modul mampu menghasilkan tegangan rata-rata 1-2 volt DC dan bahkan sampai 5 volt DC tergantung variasi panas dan pendinginan, tetapi umumnya satu modul termoelektrik menghasilkan 1.5-2 volt DC. Keuntungan system ini adalah ia akan terus menghasilkan listrik selama panas masih ada pada manifold mesin atau muffler walaupun mesin telah dimatikan.

Nilai ini sangat tergantung dari perbedaan temperature yang didapatkan. Karena panas buang kendaraan bersifat fluktuatif, nilai daya yang dihasilkan mungkin berubah-ubah tetapi selama mesin dinyalakan nilai dayanya akan terus ada. Hal penting yang patut lainnya adalah bahwa daya keluaran adalah hasil

perbedaan temperature kedua sisi modul termoelektrik. Artinya bukan berarti bagaimana mendapatkan temperature panasnya, akan tetapi seberapa besar perbedaan temperature yang didapatkan. Semua ini berhubungan dengan efisiensi dari termoelektrik itu sendiri. Jika perbedaan temperatur nya makin besar maka daya keluaranya juga makin besar, hingga titik maksimum efisiensi peltier tersebut. Jadi ada kemungkinan walaupun perbedaan temperaturnya sangat besar tetapi daya yang dihasilkannya lebih kecil.

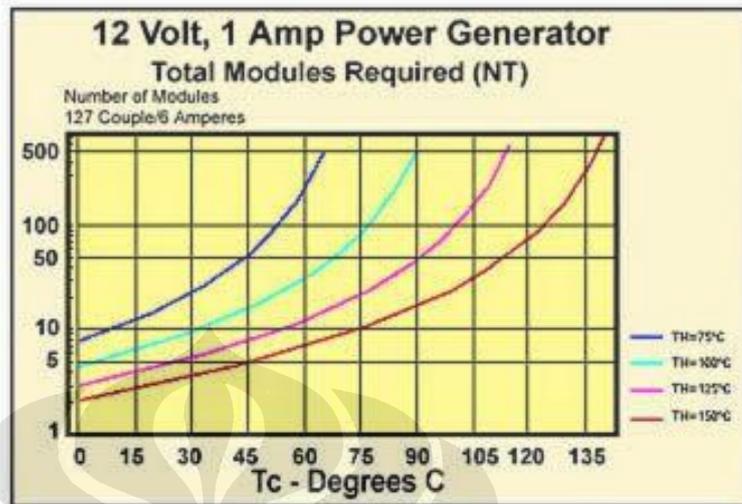
Nilai efisiensi modul termoelektrik dapat ditingkatkan dengan cara panas didisipasi diatas sisi dingin modul, seperti penggunaan heat sink, fan water jacket atau hanya dengan memberika temperature lingkungan diatas sisi dingin modul untuk menjaga perbedaan temperature dengan sisi panasnya.

Untuk penelitian ini modul dapat dipasang dibagian manifold mesin atau muffler dari kendaraan. Jika ingin mendapatkan sumber panas yang cukup tinggi maka perlu dipasang di manifold mesin karena suhunya dapat mencapai 100 °C. Udara yang mengalir di atas modul dapat digunakan untuk mendisipasi panas dari modul pada sisi dinginnya. Modul termoelektrik ini telah didesain tertentu agar dapat dipasang dibagian manifold hingga muffler kendaraan. Jadi kita dapat menempatkannya sesuai dengan keinginan kita yaitu seberapa besar perbedaan temperature yang diinginkan dan daya keluaran yang dihasilkan.[11]

Jika lebih dari satu modul sedang digunakan, hubungkan modul secara listrik dalam susunan seri. Alasannya adalah tiap-tiap modul memiliki tegangan yang berbeda. Tegangan tiap-tiap modul perlu disamakan jika modul-modul tersebut dihubungkan secara paralel. Dan tegangan yang didapatkan diubah dengan DC-DC converter untuk mengetahui seberapa besar nilai tegangan yang didapatkan. Hasil penelitian ini direncanakan akan dihubungkan ke baterai yang dapat diisi ulang. Baterai ini tentunya akan membantu suplai listrik bagi mobil hybrid.[11]

Kebutuhan modul termoelektrik untuk pembangkit daya tipe 12 volt, 1 ampere di-plot pada beberapa nilai  $T_h$  tetap berdasarkan penggunaan modul termoelektrik 127-kopel 6 ampere. Dari grafik ini jelas terlihat bahwa jumlah yang sangat besar dari modul diperlukan ketika temperature sisi dingin ( $T_c$ ) cukup

tinggi dan perbedaan temperature kecil. Performa *heat sink* sisi dingin sangat penting dan hambatan termalnya harus sangat rendah. [9]



Gambar 2.13 *The Total Number of 127 Couple, 6 Amp Modules Required for a 12-volt, 1 Ampere Thermoelectric Power Generator*