

BAB 2

Tinjauan Pustaka

2.1 Pendinginan Menggunakan Modul TEC

Pendinginan termoelektrik (*Thermoelectric Cooling*) adalah pendinginan atau penyerapan panas menggunakan prinsip dasar efek Peltier. Efek Peltier terjadi ketika dua material konduktor atau semikonduktor yang berbeda dilewati arus listrik, maka akan terjadi penyerapan panas di satu sisi dan pelepasan panas di sisi satunya karena terdapat aliran elektron pada semikonduktor tipe N dan aliran *hole* pada semikonduktor tipe P, inilah yang disebut dengan efek Peltier^[4]. Suatu alat yang memanfaatkan efek ini disebut elemen Peltier (*Peltier device*) dan contohnya adalah modul termoelektrik atau dalam bahasa pasar di Indonesia lebih dikenal sebagai dioda panas dingin.

Pendinginan menggunakan modul termoelektrik memiliki beberapa kelebihan dibandingkan pendinginan menggunakan sistem refrigerasi. Kelebihan-kelebihannya antara lain :

- perawatan yang sangat mudah karena tidak ada bagian yang bergerak,
- ramah lingkungan karena tidak memerlukan refrijeran,
- tidak bising,
- cocok diaplikasikan pada alat pendingin berukuran kecil,
- ringan,
- umur alat yang panjang, melebihi 100.000 jam MTBF, dan
- mudah dikontrol (mengubah nilai tegangan atau arus listrik).

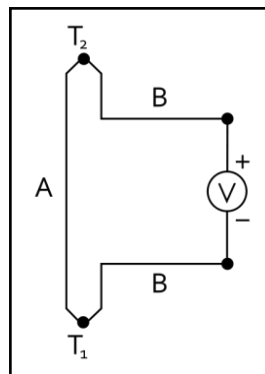
2.1.1Efek elemen termoelektrik

Efek Peltier merupakan salah satu dari dua macam efek termoelektrik yang ditemukan. Efek Peltier merupakan kebalikan dari efek Seebeck yang ditemukan 8 tahun sebelumnya.^[4]

Perlu diperhatikan bahwa pelepasan panas yang terjadi pada efek Peltier berbeda dengan panas yang dihasilkan suatu alat elektronik yang adalah suatu kerugian karena pada saat beroperasi, suatu alat elektronik tidak dalam keadaan ideal. Panas ini disebut pemanasan Joule yaitu ketika material berhambatan dilalui tegangan maka akan timbul panas. Pemanasan Joule tidak reversibel secara termodinamika sedangkan efek Peltier adalah reversibel.

2.1.1.1 Efek Seebeck

Ditemukan oleh Thomas Johann Seebeck (1770-1831) dan dipublikasikan pada tahun 1826. Ketika terdapat perbedaan temperatur antara dua logam atau semikonduktor akan menghasilkan tegangan listrik. Inilah yang disebut dengan efek Seebeck. Apabila dua logam atau semikonduktor itu terhubung dalam satu sirkuit maka arus listrik akan mengalir terus menerus.



Gambar 2.1. Contoh sirkuit yang dapat mengilustrasikan efek Seebeck^[4]

Tegangan listrik yang dapat dihasilkan dapat dinyatakan dalam persamaan :

$$V = \int_{T_1}^{T_2} (S_B(T) - S_A(T)) dT \quad (2.1)$$

Dengan S_b dan S_a adalah koefisien Seebeck untuk material dengan satuan milivolt per Kelvin. Atau persamaan di atas disederhanakan :

$$V = (S_B - S_A) \cdot (T_2 - T_1) \quad (2.2)$$

Koefisien Seebeck disebut juga dengan *thermopower*, merupakan parameter penting dari suatu material termoelektrik karena menunjukkan efisiensi. Semakin besar koefisien ini maka hanya butuh perbedaan temperatur sedikit untuk dapat beda potensial yang besar. Efek Seebeck ini diaplikasikan dalam termokopel.

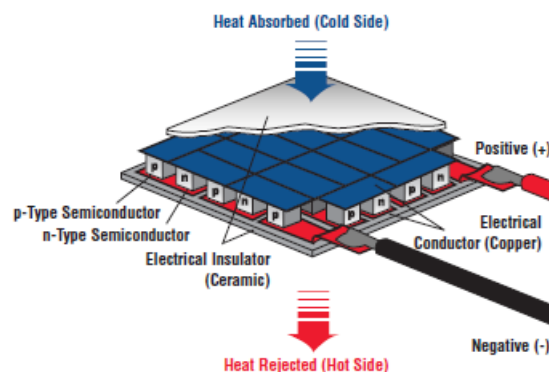
2.1.1.2 Efek Peltier

Efek Peltier ditemukan oleh Jean Charles Peltier (1785-1845) pada tahun 1834. Peltier menemukan bahwa apabila arus listrik melalui dua material semikonduktor yang berbeda, maka panas akan diserap pada satu sisi dan dilepaskan pada sisi lainnya. Panas yang diserap dapat diketahui dengan persamaan :

$$q = \Pi_{AB} I = (\Pi_B - \Pi_A) I \quad (2.3)$$

Di mana Π_A dan Π_B adalah koefisien Peltier untuk tiap material. Silikon tipe-P mempunyai nilai yang positif dan Silikon tipe-N mempunyai koefisien yang negatif.

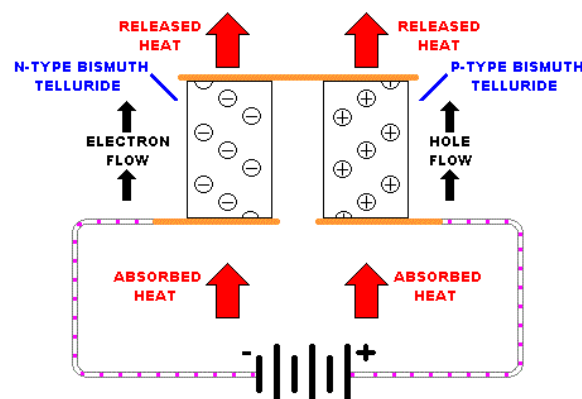
Arah penyerapan panas dan pengeluaran panas ditentukan oleh polaritas arus. Membalikkan polaritas maka arah perpindahan panas juga akan terbalik. Aplikasi efek Peltier adalah pada elemen Peltier yaitu untuk mendinginkan atau memanaskan sesuatu.



Gambar 2.2 Peltier device^[5]

Terjadinya efek Seebeck dan efek Peltier dikarenakan adanya difusi dari *charge carrier*. *Charge carrier* atau pembawa adalah partikel bebas yang membawa arus listrik, jadi pada logam yang disebut *charge carrier* adalah elektron, pada semikonduktor yang disebut *charge carrier* adalah elektron dan hole, dan pada konduktor ion yang disebut *charge carrier* adalah ion.

Partikel pembawa muatan ini berdifusi apabila terdapat perbedaan temperatur pada satu ujung suatu konduktor dengan ujung lainnya. Partikel bebas ini ada 2 macam yaitu *hot carrier* dan *cold carrier*. *Hot carrier* adalah *charge carrier* yang memiliki energi kinetik yang besar dibandingkan *cold carrier*. *Hot carrier* inilah yang berdifusi dari sisi yang panas ke sisi yang dingin karena di sisi dingin kepadatan *hot carrier* lebih kecil. Pergerakan inilah yang disebut dengan arus panas dan menimbulkan arus listrik.



Gambar 2.3 Ilustrasi pergerakan elektron dan *hole* pada efek Peltier^[6]

Pada efek Peltier, yang terjadi adalah kebalikannya. Gambar 2.3 di atas mengilustrasikan pergerakan partikel bebas tersebut. Suatu semikonduktor tipe-N dan tipe-P dihubungkan dengan logam, apabila arus searah mengalir dari kutub positif ke kutub negatif maka elektron pada tipe-N akan bergerak berlawanan dengan arah arus listrik dan *hole* pada tipe-P akan bergerak searah dengan arus listrik. Untuk menjaga kesetimbangan energi, pergerakan partikel pembawa ini yang menyebabkan panas diserap di satu sisi dan dilepasnya panas di sisi lainnya.

2.1.2 Kelayakan suatu modul termoelektrik (*figure of merit*)

Suatu modul termoelektrik bisa dinilai dengan menggunakan persamaan^[4]

$$Z = \frac{\sigma S^2}{\kappa} \quad (2.4)$$

dengan σ : konduktifitas elektrik

κ : konduktifitas termal

S : koefisien Seebeck

Lebih umum dinyatakan sebagai bilangan tak berdimensi ZT , dengan T adalah temperatur rata-rata, karena nilai yang diperoleh dari ZT ini menyatakan efisiensi termodinamikanya. Lebih besar ZT maka lebih tinggi efisiensinya.

Semikonduktor yang sering digunakan sekarang ini adalah paduan Bismuth Telluride (Bi_2Te_3) dan yang lainnya adalah paduan Lead Telluride (PbTe), Silicon Germanium (SiGe), dan Bismuth-Antimony (Bi-Sb) di mana material-material ini digunakan pada kondisi khusus.

Bismuth Telluride mempunyai dua karakteristik yang sangat penting untuk material termoelektrik yaitu konduktifitas elektrik yang besar dan konduktifitas termal yang relatif lebih kecil.

2.2 Proses Manufaktur

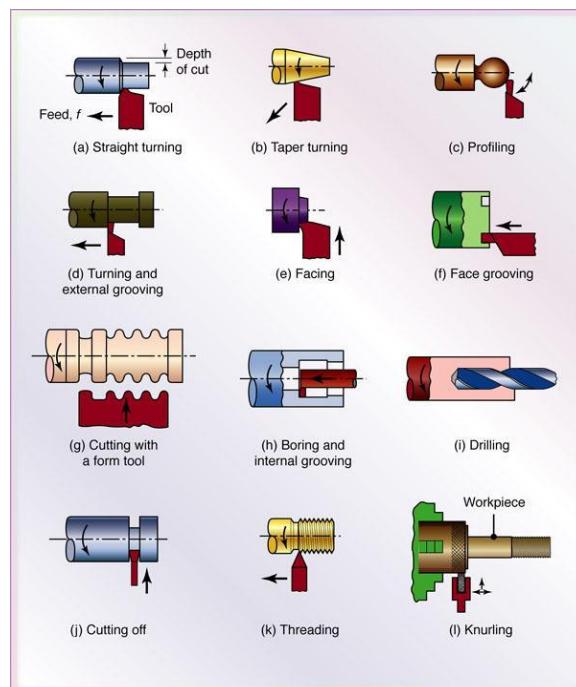
Berikut adalah beberapa faktor yang menjadi pertimbangan dalam pemilihan proses manufaktur^[7] yaitu,

- Karakteristik dan sifat dari material benda kerja,
- Geometri benda kerja,
- Laju produksi,
- Biaya produksi terhadap jumlah total produksi,

Pada sub bab ini akan dijelaskan beberapa proses pemesinan yang akan digunakan dalam proses pembuatan purwarupa 1 pendingin mini:

1) Proses Bubut (*Turning*)

Komponen utama pada purwarupa II yaitu dinding pendingin dalam aluminium berbentuk silinder yang memerlukan proses bubut dalam tahap pembuatan. Jenis proses pengerjaan pada mesin bubut ilustrasi Gambar 2.4 dengan deskripsi mengikuti gambar, dapat dikerjakan menggunakan mesin bubut konvensional seperti pada Gambar 2.5 atau menggunakan mesin CNC *turning centre* dengan ilustrasi pada Gambar 2.6.

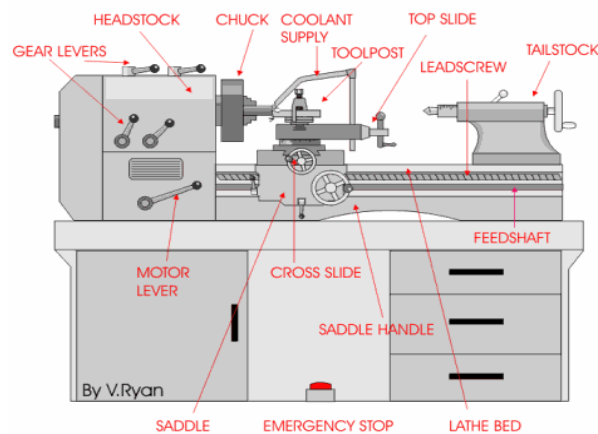


Gambar 2.4 Proses pengerjaan mesin bubut^[7]

- Perataan permukaan (*facing*): Pada proses ini yang kami lakukan adalah meratakan permukaan benda kerja. Benda kerja diam sedangkan pahatnya digerakan mendekati permukaan benda kerja untuk menghasilkan konfigurasi permukaan sesuai fungsi desain.
- Reduksi diameter: Dalam proses ini kami mencoba untuk mereduksi diameter suatu benda kerja atau membuat celah

dengan cara memutar benda kerja pada sumbu putarnya dan menggerakkan pahat pada benda kerja hingga permukaan benda kerja terkikis sesuai dengan ukuran sesuai desain.

- Pembuatan celah (*cutting-off*): Proses ini membuat celah pada benda kerja dan dilanjutkan dengan proses membuat ulir.
- Pembuatan ulir (*threading*): Proses yang dilakukan bertujuan untuk menghasilkan ulir pada benda kerja. Sebelum membuat bentuk ulir, kita harus membuat celah terlebih dahulu supaya saat membuat ulir tidak terjadi tabrakan antara pahat dengan bagian benda kerja sepanjang bagian yang berulir.



Gambar 2.5 Mesin bubut konvensional^[8]



Gambar 2.6 CNC turning centre^[8]

2) Proses *Freis* (Milling)

Proses *freis* digunakan untuk meratakan permukaan (*facing*), membuat alur (*slot*), membuat *step*, memotong benda kerja menjadi bentuk yang bervariasi. Pada proses pembuatan dudukan berbahan isolator untuk modul termoelektrik dan kaki pendingin mini, perlu dilakukan pemotongan permukaan untuk mendapatkan dimensi yang dibutuhkan. Proses *freis* untuk komponen tersebut dilakukan pada mesin *freis* vertikal.



Gambar 2.7 Mesin *freis* sumbu vertikal^[8]

a. Mesin *Freis* Horizontal

Adalah mesin *freis* yang poros utamanya sebagai pemutar dan pemegang alat potong pada posisi mendatar. Mesin ini termasuk tipe *knee*, namun bentuknya sama dengan mesin *freis* universal. Biasanya digunakan untuk mengerjakan permukaan datar dan alur. Tipe lain dari mesin ini adalah mesin *freis* tipe *bed*. Tipe *bed* ini lebih kuat karena meja mesin ditahan sepenuhnya oleh sadel/pondasi yang terpasang pada lantai.

b. Mesin *Freis* Vertikal

Adalah mesin *freis* dengan poros utama sebagai pemutar dengan pemegang alat potong dengan posisi tegak. Poros utama mesin

freis tegak di pasang pada kepala tegak (*vertical head spindle*). Posisi kepala ini dapat dimiringkan kearah kiri atau kanan maksimal 60^0 . Biasanya mesin ini dapat mengerjakan permukaan bersudut, datar, beralur, membuat lubang dan dapat mengerjakan permukaan berbentuk lingkaran atau bulat.

c. Mesin *Freis Universal*

Adalah mesin yang pada dasarnya gabungan dari mesin *freis* horizontal dan mesin *freis* vertikal. mesin ini dapat mengerjakan pekerjaan *freis* muka, datar, spiral, roda gigi, pembuatan lubang dan reamer serta pembuatan alur luar dan alur dalam. Untuk melaksanakan pekerjaannya mesin *freis* dilengkapi dengan peralatan yang mudah digeser, diganti dan dipindahkan. Peralatan tambahan tersebut berupa meja siku (*fixed angular table*), meja miring (*inclinable universal table*), meja putar (*rotary table*) dan kepala spindel tegak (*vertical head spindle*).

Berdasarkan fungsi penggunaannya, mesin *freis* dapat digunakan untuk proses pengerjaan sebagai berikut:

1. Mesin *milling copy*

Mesin *milling* yang digunakan untuk mengerjakan bentukan yang rumit. Maka dibuat master/mal yang dipakai sebagai referensi untuk membuat bentukan yang sama. Mesin ini dilengkapi dua buah *head* mesin yang fungsinya sebagai berikut :

- a. *Head* yang pertama berfungsi untuk mengikuti bentukan masternya,
- b. *Head* yang kedua berfungsi memotong benda kerja sesuai bentukan masternya.

Head pertama dan kedua dihubungkan dengan menggunakan sistem hidrolik. Sistem referensi pada waktu proses pengerjaan adalah sebagai berikut :

- a. Sistem menuju satu arah, yaitu tekanan *guide* pada *head* pertama ke arah master adalah satu arah.
- b. Sistem menuju satu titik, yaitu tekanan *guide* tertuju pada satu titik dari master.

2. Mesin *milling hobbing*

Mesin *milling* yang digunakan untuk membuat roda gigi/*gear* dan sejenisnya. Pahat yang digunakan juga spesifik, yaitu membentuk profil roda gigi dengan ukuran yang presisi menggunakan pembagi *dividing head*.

3. Mesin *milling gravier*

Mesin *milling* yang digunakan untuk membuat Gambar atau tulisan dengan ukuran yang dapat diatur sesuai keinginan dengan skala tertentu.

2. Mesin *milling planer*

Mesin *milling* yang digunakan untuk memotong permukaan (*face shaper*) dengan benda kerja yang besar dan berat.

5. Mesin *milling CNC*

Mesin *milling* yang digunakan untuk mengerjakan benda kerja dengan bentuk-bentuk yang lebih kompleks. Mesin *milling* CNC dapat berupa gabungan dari mesin *milling copy* dan *gravier*. Semua kontrol menggunakan sistem elektronik yang kompleks. Dibutuhkan operator yang ahli dalam menjalankan mesin ini karena cara kerja CNC menggunakan bahasa pemrograman khusus.

3) Proses *drilling*

Bagian-bagian yang menggunakan sambungan perlu dibuat lubang menggunakan mesin gurdi. Proses pelubangan dapat menggunakan mesin gurdi tetap atau bor tangan untuk konstruksi ringan dengan tingkat ketelitian rendah.

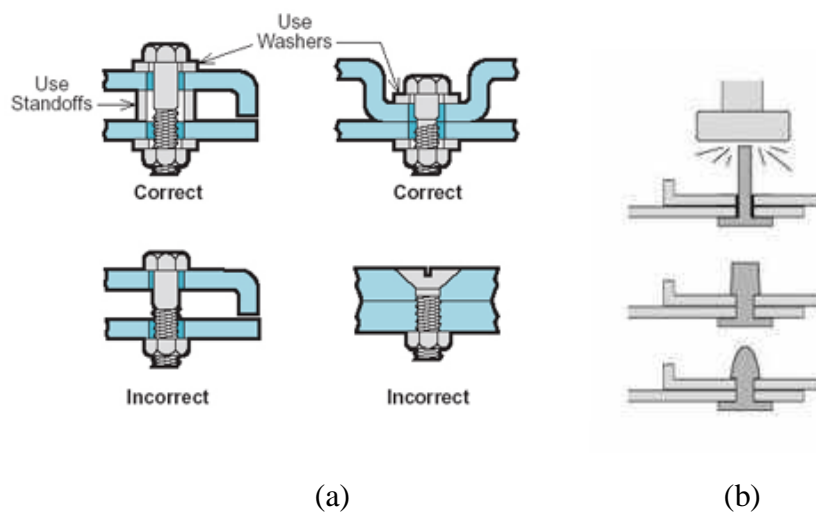


Gambar 2.8 Mesin gurdi

4) Proses Penyambungan

a) *Mechanical fastening*

Mur dan baut adalah pasangan pengencang mekanik. Mur dan baut merupakan sambungan temporari, sedangkan untuk sambungan permanen dapat digunakan rivet dengan ilustrasi pada Gambar 2.9.. Ukuran kedua jenis sambungan tersebut bermacam-macam, disesuaikan dengan kebutuhan atau kekuatan konstruksi yang disambungkan. Pada pasangan mur dan baut dapat digunakan O-ring di bagian bawah kepala baut dan bagian bawah mur yang menempel di benda kerja untuk mendapatkan hasil sambungan yang lebih baik.



Gambar 2.9 Sambungan baut (a) dan *rivet* (b)

b) *Adhesive bonding*

Penyambungan dengan *adhesive bonding* menggunakan pasta perekat, yaitu silikon atau *epoxy* dengan formula khusus untuk menyambung dua buah bahan dengan jenis yang sama maupun dengan jenis yang berbeda dengan tujuan penyambungan tidak permanen sehingga memudahkan untuk melepaskan sambungan tanpa merusak material yang disambung.

c) *Thermal compound*

Thermal compound adalah pasta penghantar panas yang digunakan diantara dua buah benda yang berkontak dengan tujuan dapat menghantarkan panas yang lebih baik. *Thermal compound* mengisi rongga mikroskopis yang terbentuk diantara dua buah objek (*heat sink* dengan prosesor) yang dapat menjebak udara masuk diantaranya sehingga mengakibatkan hambatan pelepasan panas menuju ke *heat sink*. Udara adalah konduktor panas yang tidak baik. *Thermal Interface Materials* (TIM) dapat mengkonduksikan (menghantarkan) panas hingga 100 kali lebih besar dari pada udara. Namun, *thermal compound* tidak lebih baik dari konduktor tembaga. *Thermal compound* yang terlalu banyak juga akan menghambat proses pelepasan panas sehingga kinerja *heat sink* tidak optimal.



Gambar 2.10 *Thermal compound*^[9]

5) *Finishing*

Proses akhir ini dilakukan untuk menyempurnakan komponen-komponen yang telah jadi. Penghalusan permukaan benda kerja menggunakan gerinda, amplas, dan kikir termasuk dalam proses ini. Pengecatan diperlukan untuk menambahkan estetika berupa warna yang berbeda pada produk yang dibuat agar lebih menarik.