

Computer Aided Design

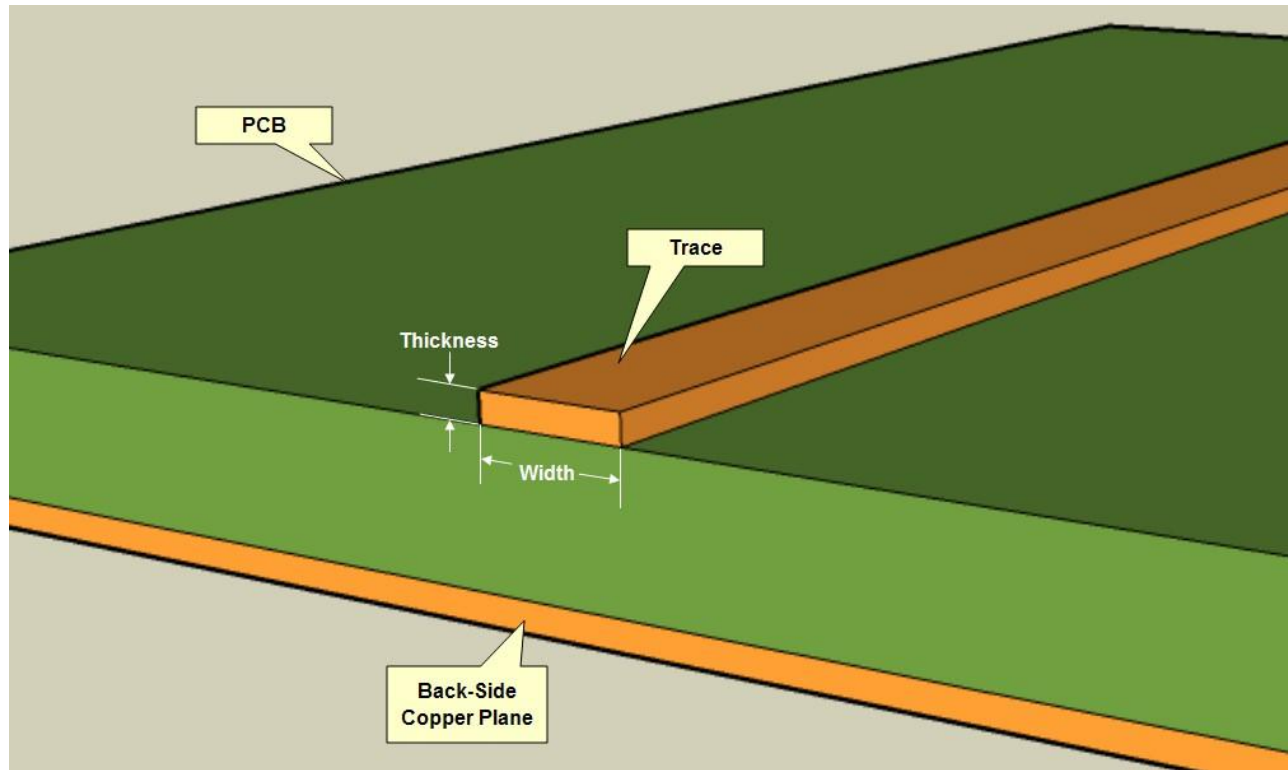
Pertemuan Ke 3

Printed Circuit Board **(PCB)**

Banyak hal yang harus diperhatikan untuk mendesain PCB. Selain harus memperhatikan fungsionalitas dari rangkaian tersebut, efek dari pengaplikasian tegangan, arus, dan frekuensi yang digunakan akan mempengaruhi karakteristik dari papan sirkuit yang dibuat. Berikut adalah beberapa poin dan istilah yang digunakan diantaranya adalah

- *copper thickness*
- *trace width*
- *Footprints*
- *trace clearance and creepage*
- *board thickness and layers*
- *Pads dan Via*
- *solder mask dan silkscreen.*

Ketebalan Lapisan Tembaga (*Copper Thickness*)



Ketebalan tembaga dapat bervariasi tergantung pada kapasitas arus dan suhu. Namun, beberapa nilai standar digunakan secara luas dalam produksi PCB. Standar ketebalan tembaga PCB memudahkan produksi dan penggantian. Ketebalan tembaga biasanya diukur dalam ons per kaki persegi atau mil.

Secara umum, terdapat empat ketebalan tembaga PCB standar, antara lain :

- ❑ 0.5 oz/ft²: Ukuran standar ini memiliki ketebalan tembaga 0.6 mil atau 15.24 mikro. Ukuran ini digunakan pada perangkat berdaya rendah atau sirkuit sederhana.
- ❑ 1 oz/ft² : Ukuran standar ini memiliki ketebalan tembaga papan sirkuit sebesar 1.34 mil atau 34.04 mikro. Sebagian besar perangkat elektronik serbaguna memiliki ketebalan tembaga ini.
- ❑ 2 oz/ft² : Ukuran standar ini memiliki ketebalan tembaga PCB sebesar 2.68 mil atau 68.07 mikro. Jenis ketebalan tembaga PCB ini digunakan dalam catu daya, pengendali motor, dan sirkuit daya.
- ❑ 3 oz/ft² : Ukuran standar ini memiliki ketebalan tembaga papan sirkuit 4.02 mil atau 102.11 mikro. Kendaraan tugas berat, sirkuit daya, dan mesin industri memerlukan ketebalan ini.

Ketebalan Lapisan Tembaga (*Copper Thickness*)

$$\textit{Thickness} = \frac{\textit{Mass}}{(\textit{Area} \times \textit{Density})}$$

Dengan : Mass = 1 ounce tembaga
 Area = 1 kaki persegi
 Density = 8.96 mg/mm³

1 Mils = 0.0254 Milimeter

10 Mils = 0.254 Milimeter

2 Mils = 0.0508 Milimeter

20 Mils = 0.508 Milimeter

3 Mils = 0.0762 Milimeter

30 Mils = 0.762 Milimeter

4 Mils = 0.1016 Milimeter

40 Mils = 1.016 Milimeter

5 Mils = 0.127 Milimeter

50 Mils = 1.27 Milimeter

6 Mils = 0.1524 Milimeter

100 Mils = 2.54 Milimeter

7 Mils = 0.1778 Milimeter

250 Mils = 6.35 Milimeter

8 Mils = 0.2032 Milimeter

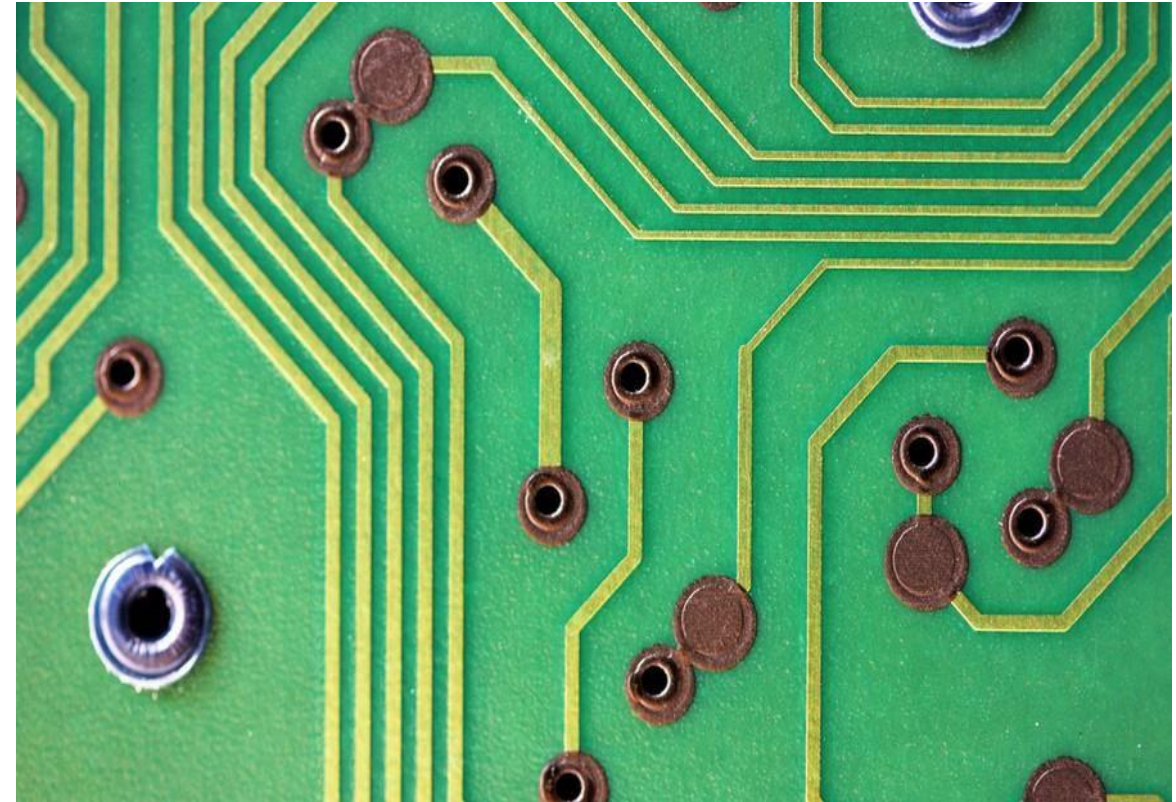
500 Mils = 12.7 Milimeter

9 Mils = 0.2286 Milimeter

1000 Mils = 25.4 Milimeter

Lebar Jalur (*Trace Width*)

Resistansi suatu konduktor pada dasarnya ditentukan oleh 2 faktor yaitu terbuat dari material apa dan bagaimana bentuknya. Sebagai contoh, tembaga tebal akan memiliki resistansi lebih kecil daripada tembaga tipis dan tembaga yang panjang akan memiliki resistansi yang lebih besar daripada tembaga yang pendek.



Ketebalan dan lebar konduktor PCB akan menentukan kapasitas daya hantar arus pada jalur. Standar IPC untuk ketebalan dan lebar konduktor PCB 1 ons/kaki persegi yang umum digunakan.

Lebar Jalur (*Trace Width*)

Lebar jalur dan ketebalan tembaga harus dipertimbangkan karena berkaitan dengan arus maksimum yang dapat di alirkan pada jalur tersebut, termasuk juga dengan berapa kenaikan suhu pada jalur. Apabila kita mengaplikasikan arus yang cukup besar pada jalur tersebut tanpa mempertimbangkan ketebalan lapisan tembaga dan lebar jalur, maka temperatur akan meningkat dan pada kasus tertentu bisa mengakibatkan jalur terbakar.

Lebar Jalur (*Trace Width*)

IPC Recommended Track Width For 1 oz cooper
PCB and 10 °C Temperature Rise

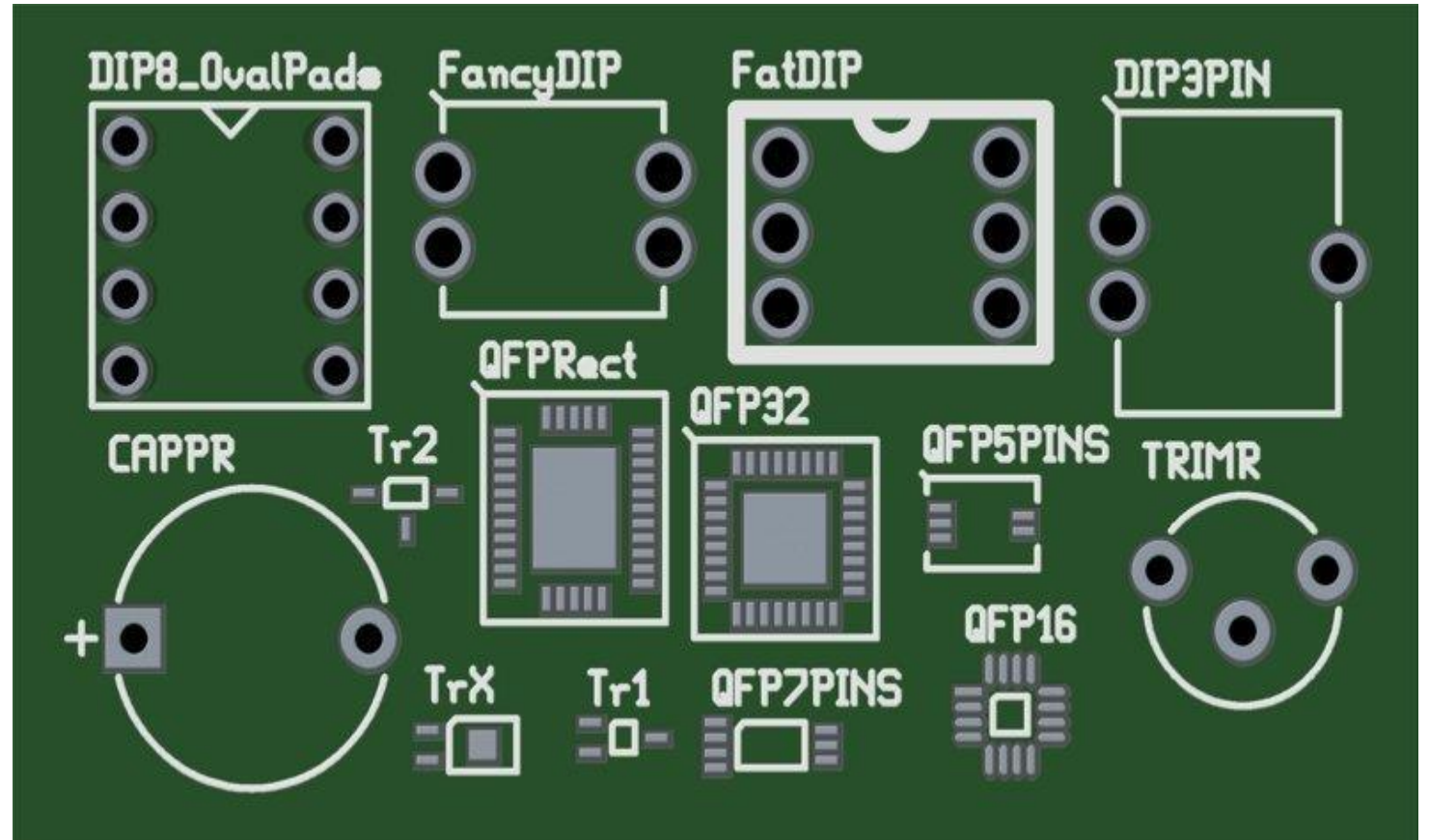
Current/A	Track Width(mil)	Track Width(mm)
1	10	0.25
2	30	0.76
3	50	1.27
4	80	2.03
5	110	2.79
6	150	3.81
7	180	4.57
8	220	5.59
9	260	6.60
10	300	7.62

Footprints

Setiap komponen yang akan disolder pada papan sirkuit pasti memiliki *footprints*. *Footprints* dibagi menjadi 2 jenis berdasarkan cara menempelkan pada papan sirkuit

yaitu *surface mount* dan *through hole*. Berikut adalah beberapa footprints komponen yang beredar di pasaran :

1. *Two Terminal Package*
2. *Three or more Terminal Package*



Footprints

1. Two Terminal Package (biasanya R, L, C)

Komponen seperti resistor, induktor dan kapasitor biasanya memiliki 2 terminal dan tersedia dalam bentuk *surface mount* maupun *through hole*.

Resistor



Inductor

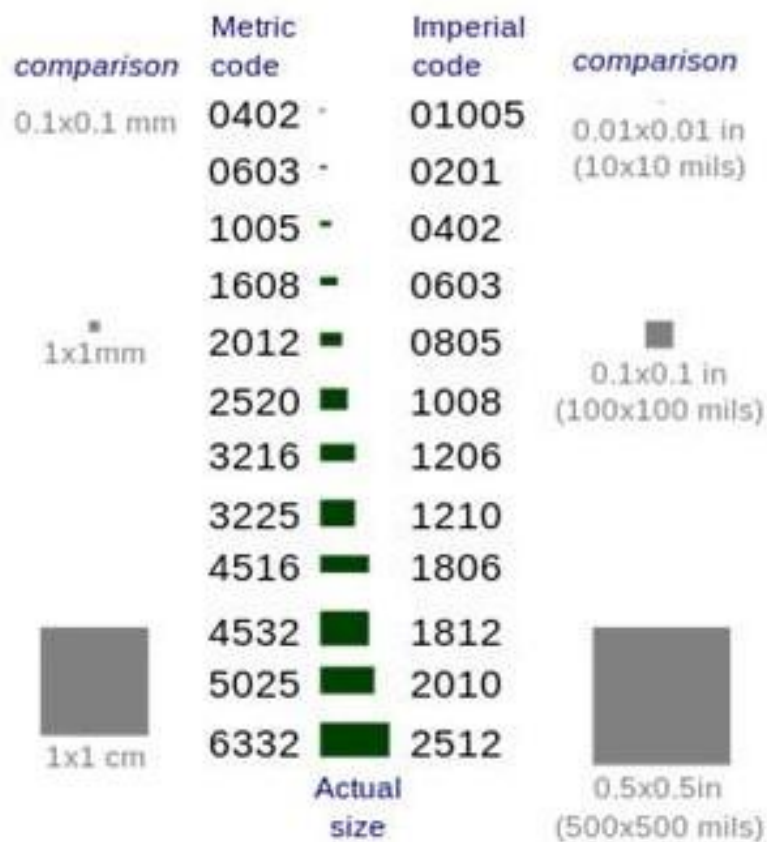


Multilayer Ceramic Capacitor



Footprints

Tabel berikut adalah tabel komponen *surface mount* yang umum beredar di pasaran beserta dimensinya.



Ukuran footprint komponen 2 terminal

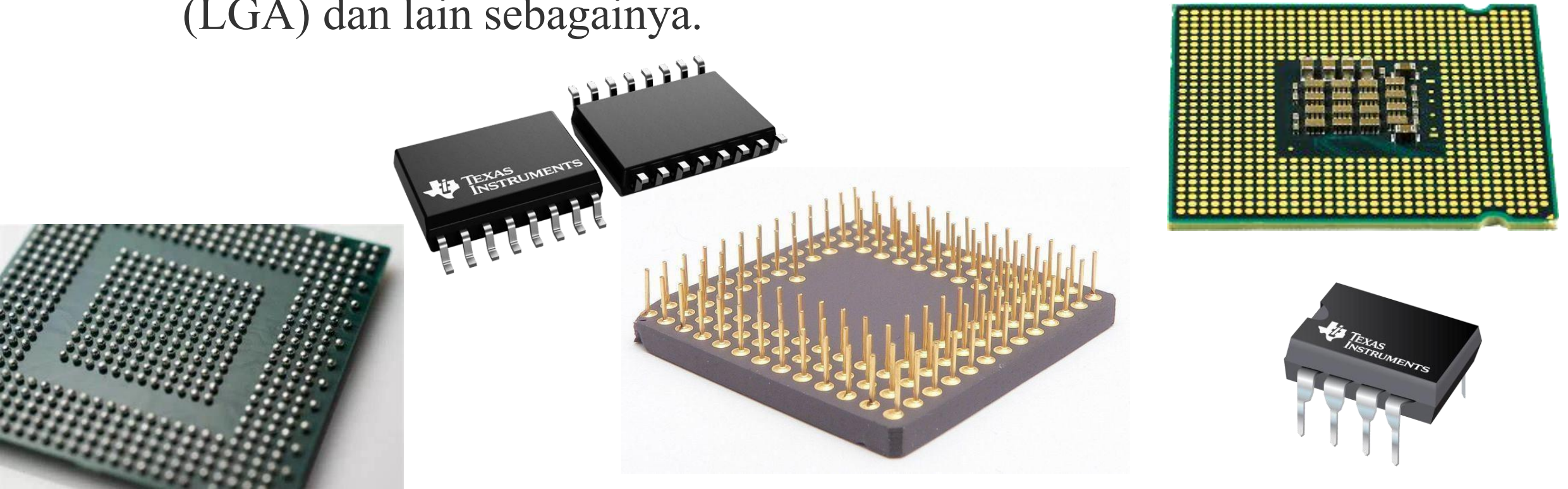
Imperial	Metric	Dimension metric	Res Power Rating
01005	0402	0.4 × 0.2	0.031
0201	0603	0.6 × 0.3	0.05
0402	1005	1.0 × 0.5	0.1 or 0.062
0603	1608	1.6 × 0.8	0.1
0805	2012	2.0 × 1.25	0.125
1008	2520	2.5 × 2.0	Typ Inductor
1206	3216	3.2 × 1.6	0.25
1210	3225	3.2 × 2.5	0.5
1806	4516	4.5 × 1.6	
1812	4532	4.5 × 3.2	0.75
2010	5025	5.0 × 2.5	0.75
2512	6332	6.4 × 3.2	1
2920		7.4 × 5.1	

Tabel konversi kode ke dimensi dengan satuan mm

Footprints

2. Three or more Terminal Package

Komponen lainnya selain package 2 terminal juga tersedia dipasaran seperti *Small Outline Package (SOP)*, *Dual Inline Package (DIP)*, *Ball Grid Array (BGA)*, *Pin Grid Array (PGA)*, *Land Grid Array (LGA)* dan lain sebagainya.



Footprints

Ada beberapa standar yang menentukan spesifikasi untuk *footprint* PCB, termasuk ukuran, bentuk, dan jarak bantalan (*pads*). Beberapa standar yang paling umum digunakan antara lain:

- IPC-7351B

Standar ini memberikan panduan untuk mendesain komponen *surface mount* dan *through-hole*, dan mencakup spesifikasi fisik dan elektrik suatu komponen, serta bentuk dan ukuran pola dasar yang direkomendasikan.

- IPC-SM-782

Standar ini memberikan panduan untuk mendesain komponen *surface mount technology* (SMT) dan secara luas digunakan dalam industri elektronik. Standar ini memberikan rekomendasi mengenai ukuran, jarak, dan bentuk *pad*, serta panduan untuk penempatan disain dan elemen lainnya.

Footprints

➤ JEDEC

Joint Electron Device Engineering Council (JEDEC) adalah kelompok industri yang mengembangkan standar untuk desain dan pembuatan komponen elektronik, termasuk jejak PCB. Standar JEDEC memberikan panduan untuk desain dan pembuatan berbagai komponen, termasuk perangkat memori, perangkat diskrit, dan mikroprosesor.

Footprints

Ada beberapa aturan yang diperlukan saat mendesain *footprint* PCB, antara lain:

1. Ukuran Bantalan

Ukuran bantalan harus sesuai dengan kabel atau pin komponen, dan harus memungkinkan penyolderan dan sambungan listrik yang aman. Ukuran pad PCB biasanya ditentukan dalam lembar data komponen atau dapat ditentukan dengan menggunakan standar desain PCB seperti IPC-7351B.

2. Jarak Bantalan

Jarak antara bantalan harus sesuai dengan kabel atau pin komponen, dan harus memungkinkan penyolderan dan sambungan listrik yang tepat. Jarak pad juga ditentukan dalam lembar data komponen atau ditentukan menggunakan standar desain PCB.

Footprints

3. Bentuk Bantalan

Bentuk bantalan harus sesuai dengan bentuk kabel atau pin komponen, dan harus memungkinkan penyolderan dan sambungan listrik yang aman. Bentuk pad ditentukan dalam lembar data komponen atau ditentukan dengan menggunakan standar desain PCB.

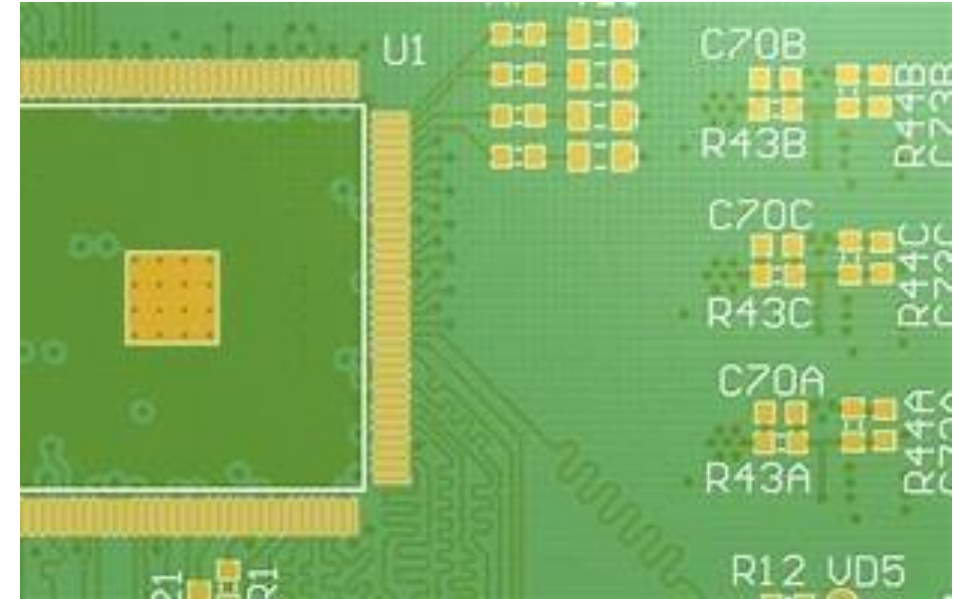
4. Penempatan *Through-Hole*

Untuk komponen *through-hole*, penempatan nya harus akurat, untuk memastikan keselarasan komponen yang tepat dan koneksi yang aman. Penempatan *through-hole* biasanya ditentukan dalam lembar data komponen atau ditentukan dengan menggunakan standar desain PCB.

Footprints

5. Penunjuk Referensi

Penunjuk referensi harus ditempatkan dengan benar, untuk memastikan identifikasi komponen yang jelas dan akurat. Penempatan penunjuk referensi biasanya ditentukan dalam lembar data komponen atau ditentukan dengan menggunakan standar desain PCB.



6. Clearance and Creepage

Jarak bebas dan rambat antara komponen dan bagian lain dari PCB harus cukup untuk mencegah korsleting listrik dan memastikan pengoperasian yang aman. Jarak bebas dan rambat minimum yang diperlukan biasanya ditentukan dalam standar industri seperti IPC-7351B atau IPC-SM-782.

Footprints

7. Trace Width

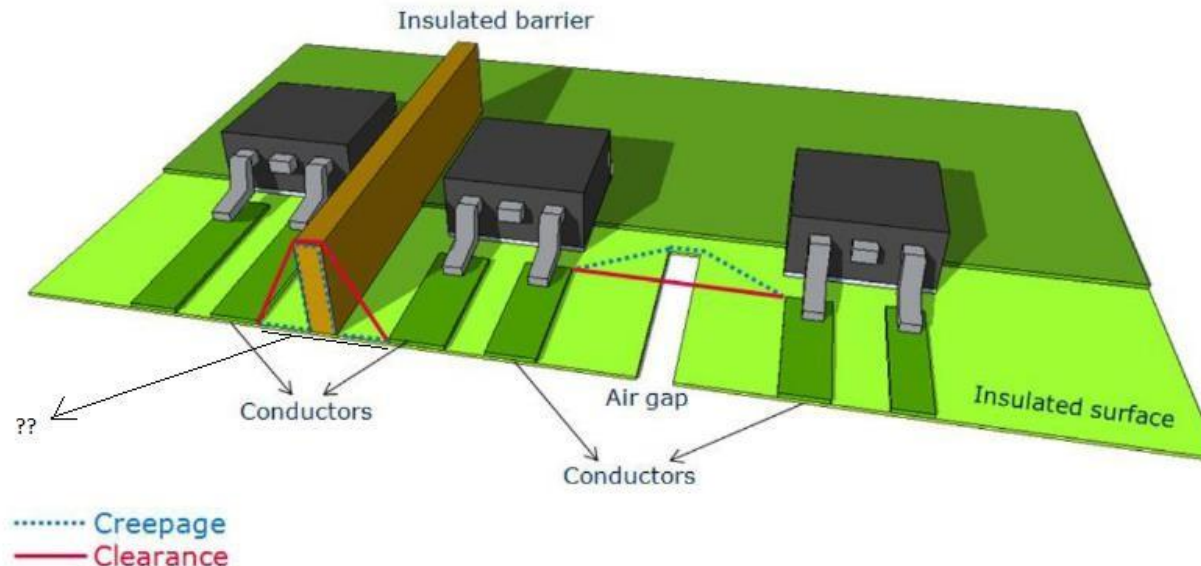
Lebar jalur harus sesuai dengan arus yang akan mengalir melalui jalur, untuk memastikan sambungan listrik yang stabil dan andal. Lebar jejak biasanya ditentukan dengan menggunakan aturan desain yang memperhitungkan level tegangan dan arus, serta panjang dan suhu jejak.

Kepatuhan terhadap aturan ini penting untuk memastikan stabilitas dan keandalan desain PCB, dan membantu memastikan fungsi perangkat elektronik yang tepat.

Jarak bebas dan Rambat

(Trace Clearance and Creepage)

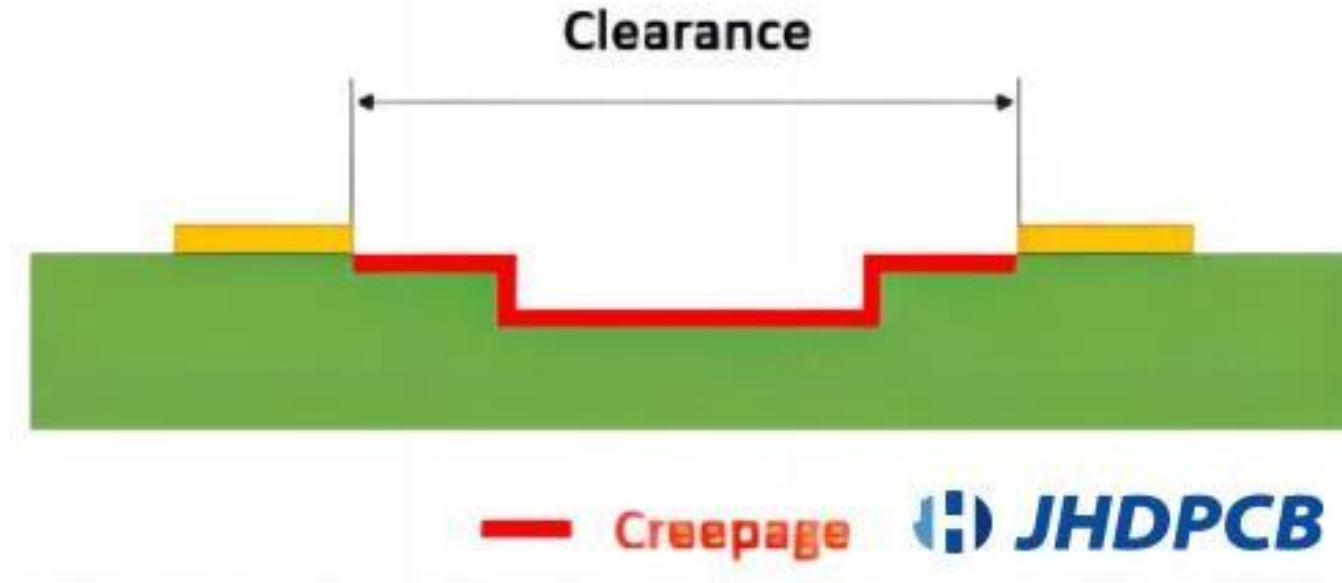
Salah satu kesalahan dan kelalaian umum yang tidak atau kurang diperhatikan oleh desainer papan sirkuit adalah *clearance* dan *creepage*. *Clearance* adalah jarak terpendek diantara 2 komponen konduktif yang diukur di *open space* atau udara. Jarak *clearance* dapat membantu untuk menjaga *breakdown* dielektrik diantara elektroda yang disebabkan oleh ionisasi udara.



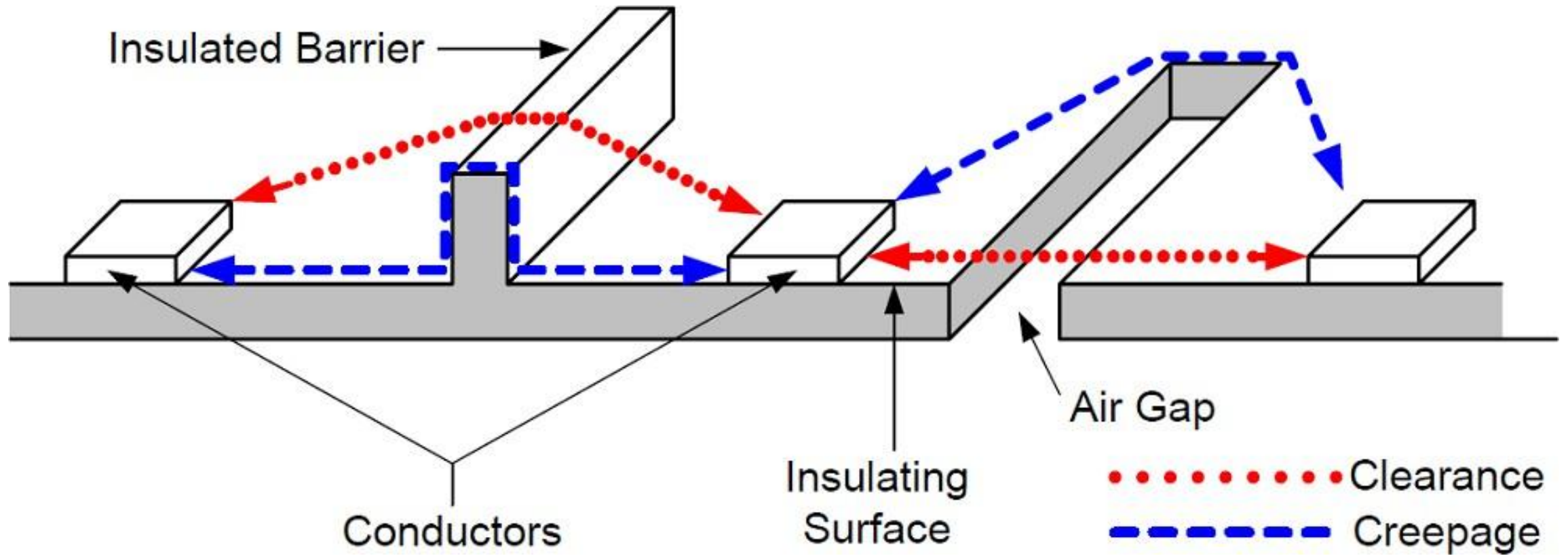
Jarak bebas dan Rambat

(Trace Clearance and Creepage)

Creepage adalah jarak terpendek diantara 2 komponen konduktif yang diukur sepanjang permukaan isolasi dari papan sirkuit. Walaupun material yang menutupi permukaan papan sirkuit bersifat isolator namun tetap memiliki *comparative tracking index* (CTI) yang dapat mengalami kegagalan proteksi isolasi apabila diaplikasikan dengan besaran tegangan tertentu.



Trace Clearance and Creepage



Trace Clearance and Creepage

Menjaga jarak bebas dan jarak rambat yang tepat sangat penting karena beberapa alasan:

1. Keselamatan

Jarak yang memadai mencegah sengatan listrik, kebakaran, dan bahaya lain yang dapat membahayakan pengguna atau merusak peralatan.

2. Keandalan

Dengan memastikan isolasi yang tepat dan mencegah arus bocor permukaan, jarak ini berkontribusi pada keandalan dan kinerja perangkat listrik jangka panjang.

3. Kepatuhan Standar

Mematuhi jarak bebas dan jarak rambat yang disarankan diperlukan untuk memenuhi berbagai standar dan peraturan keselamatan, seperti standar IEC, UL, dan EN.

Trace Clearance and Creepage

Table 6-1 Electrical Conductor Spacing

Voltage Between Conductors (DC or AC Peaks)	Minimum Spacing						
	Bare Board				Assembly		
	B1	B2	B3	B4	A5	A6	A7
0-15	0.05 mm	0.1 mm	0.1 mm	0.05 mm	0.13 mm	0.13 mm	0.13 mm
16-30	0.05 mm	0.1 mm	0.1 mm	0.05 mm	0.13 mm	0.25 mm	0.13 mm
31-50	0.1 mm	0.6 mm	0.6 mm	0.13 mm	0.13 mm	0.4 mm	0.13 mm
51-100	0.1 mm	0.6 mm	1.5 mm	0.13 mm	0.13 mm	0.5 mm	0.13 mm
101-150	0.2 mm	0.6 mm	3.2 mm	0.4 mm	0.4 mm	0.8 mm	0.4 mm
151-170	0.2 mm	1.25 mm	3.2 mm	0.4 mm	0.4 mm	0.8 mm	0.4 mm
171-250	0.2 mm	1.25 mm	6.4 mm	0.4 mm	0.4 mm	0.8 mm	0.4 mm
251-300	0.2 mm	1.25 mm	12.5 mm	0.4 mm	0.4 mm	0.8 mm	0.8 mm
301-500	0.25 mm	2.5 mm	12.5 mm	0.8 mm	0.8 mm	1.5 mm	0.8 mm
> 500 See para. 6.3 for calc.	0.0025 mm /volt	0.005 mm /volt	0.025 mm /volt	0.00305 mm /volt	0.00305 mm /volt	0.00305 mm /volt	0.00305 mm /volt

B1 - Internal Conductors

B2 - External Conductors, uncoated, sea level to 3050 m

B3 - External Conductors, uncoated, over 3050 m

B4 - External Conductors, with permanent polymer coating (any elevation)

A5 - External Conductors, with conformal coating over assembly (any elevation)

A6 - External Component lead/termination, uncoated

A7 - External Component lead termination, with conformal coating (any elevation)

Trace Clearance and Creepage

Beberapa faktor mempengaruhi jarak bebas dan jarak rambat yang diperlukan dalam desain listrik:

1. Tegangan

Tegangan antara bagian konduktif merupakan faktor utama dalam menentukan jarak bebas dan jarak rambat yang diperlukan. Tegangan yang lebih tinggi memerlukan jarak yang lebih jauh untuk mencegah kerusakan listrik dan arus bocor permukaan.

2. Tingkat Polusi

Tingkat polusi lingkungan tempat peralatan akan digunakan juga memengaruhi jarak yang diperlukan.

Trace Clearance and Creepage

Ada empat tingkatan polusi yang ditetapkan dalam standar IEC 60664-1:

- a) Derajat Polusi 1: Tidak terjadi polusi atau hanya polusi kering dan non-konduktif.
- b) Derajat Polusi 2: Hanya terjadi polusi non-konduktif, kecuali konduktivitas sementara sesekali yang disebabkan oleh kondensasi.
- c) Derajat Polusi 3: Terdapat polusi konduktif atau polusi kering non-konduktif yang menjadi konduktif karena kondensasi.
- d) Derajat Polusi 4: Konduktivitas persisten terjadi karena debu konduktif, hujan, atau kondisi basah lainnya.

Tingkat polusi yang lebih tinggi memerlukan jarak rambat yang lebih besar untuk mencegah arus bocor permukaan.

Trace Clearance and Creepage

3. Kelompok Material

Sifat bahan isolasi juga memengaruhi jarak rambat yang dibutuhkan. Standar IEC 60664-1 mendefinisikan empat kelompok bahan berdasarkan indeks pelacakan komparatif (CTI):

- a) Kelompok Material I: $CTI \geq 600$
- b) Kelompok Material II: $400 \leq CTI < 600$
- c) Kelompok Material IIIa: $175 \leq CTI < 400$
- d) Kelompok Material IIIb: $100 \leq CTI < 175$

Material dengan nilai CTI yang lebih tinggi memerlukan jarak rambat yang lebih kecil.

Trace Clearance and Creepage

4. Ketinggian

Untuk peralatan yang beroperasi pada ketinggian di atas 2.000 meter, jarak bebas harus ditingkatkan untuk mengimbangi berkurangnya kepadatan udara dan kekuatan dielektrik.

Trace Clearance and Creepage

Contoh: Perhitungan Jarak Bebas

Pada sebuah perangkat listrik dengan tegangan kerja 250 V AC dan tingkat polusi 2. Untuk menentukan jarak bebas minimum, kita dapat merujuk pada tabel di bawah ini, yang diadaptasi dari standar IEC 60664-1:

Voltage (V AC)	Pollution Degree 2 Minimum Clearance (mm)
≤ 50	0.2
≤ 100	0.2
≤ 150	0.5
≤ 300	1.5
≤ 600	3.0

Berdasarkan tabel, jarak bebas minimum yang diperlukan untuk contoh tersebut adalah 1,5 mm.

Trace Clearance and Creepage

Contoh: Perhitungan Jarak Rambat

Dengan perangkat yang sama pada tegangan kerja 250 V AC, tingkat polusi 2, dan bahan isolasi dari kelompok material IIIa. Untuk menemukan jarak rambat minimum, kita dapat menggunakan table di bawah ini, yang juga diadaptasi dari standar IEC 60664-1:

Voltage (V AC) Pollution Degree 2 Minimum Creepage (mm)	
Material Group IIIa	
----- -----	
≤ 50	1.6
≤ 100	2.0
≤ 150	2.5
≤ 300	4.0
≤ 600	8.0

Untuk contoh tersebut, maka jarak rambat minimum yang diperlukan adalah 4,0 mm.

Trace Clearance and Creepage

Berikut adalah beberapa faktor yang dapat mengakibatkan kerusakan pada material isolasi antara lain :

- Kelembapan udara
- Adanya kontaminan atau pengotoran
- Karat atau bahan bersifat korosif
- Ketinggian dimana peralatan harus dioperasikan