

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

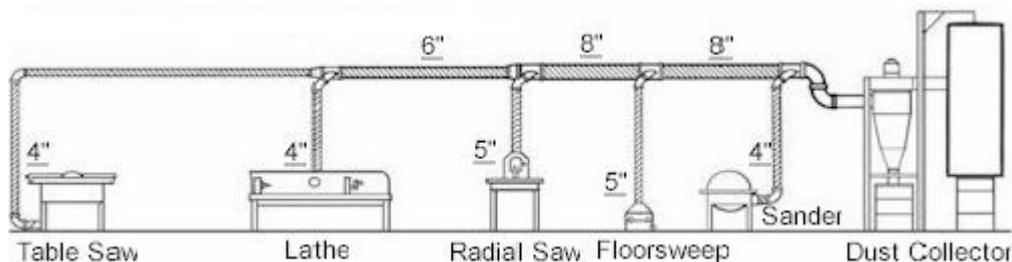
2.1. Tinjauan Pustaka

Penelitian ini mengacu pada penelitian yang telah lebih dahulu dibuat oleh beberapa peneliti. Peneliti mengambil beberapa sumber penelitian terdahulu yang berhubungan dengan perancangan alat pengumpul debu. Berikut ini merupakan penjelasan mengenai penelitian terdahulu dan perbedaan antara penelitian terdahulu dengan penelitian sekarang.

2.1.1. Penelitian Terdahulu

Penelitian yang berkaitan khusus dengan perancangan mesin pengumpul debu di mesin CNC masih belum banyak. Maka beberapa penelitian berikut merupakan perancangan mesin pengumpul debu secara umum. Beberapa penelitian yang terkait dengan topik yang dibahas dalam penelitian ini dan telah berhasil dilakukan antara lain dari: Khan & Bhuiyan (2013), Kosaki dkk (2015), Darmanto & Sarsetyanto (2004), dan Shaisundaram (2018).

Khan & Bhuiyan (2013) melakukan penelitian yang berkaitan dengan perancangan sistem pengumpul debu terpusat untuk industri furnitur. Pada penelitian ini ditemukan bahwa sistem pengumpul debu yang dipakai masih konvensional dan tidak efisien. Pengumpul debu konvensional menghisap debu dan puing kayu langsung menuju ke *blower*, kemudian dari *blower* ditampung di tas kain. Hal tersebut menyebabkan udara disekitar tempat penampungan masih bercampur dengan debu kayu. Pada jurnal ini dijelaskan juga langkah-langkah untuk merancang sistem pengumpulan debu yang efektif dan efisien. Pada Gambar 2.1. menunjukkan rancangan awal yang menggunakan separator berjenis siklon sebagai pemisah partikel debu dan udara.



Gambar 2.1. Rancangan Sistem Pengumpul Debu (Khan & Bhuiyan, 2013)

Kosaki dkk (2015) menyebutkan pada penelitiannya bahwa pemisahan partikel di dalam siklon didasarkan pada prinsip gaya sentrifugal. Gaya tersebut berasal dari aliran yang berputar disepanjang dinding siklon hingga mengalir ke bagian pengumpul debu. Tujuan dari penelitian Kosaki dkk adalah merancang desain siklon yang mempertimbangkan aliran tidak stabil. Perancangan siklon menggunakan bantuan *computational fluid dynamics* (CFD) untuk menganalisis pergerakan aliran udara. Hasil dari penelitian didapatkan siklon dengan pengumpul debu yang efisien dan kinerja klasifikasi partikel tinggi. Desain siklon hasil eksperimen memiliki nilai efisiensi pengumpulan debu tertinggi yaitu sebesar 98,6%.

Penelitian yang dilakukan oleh Darmanto & Sarsetyanto (2004) membahas penggunaan filter dan letak saluran masuk siklon untuk mendapatkan kinerja siklon yang lebih efisien. Pada penelitiannya Darmanto menyebutkan bahwa filter kain dapat menyaring aerosol hingga lebih dari 99% dan penempatan saluran masuk yang lebih tinggi dari posisi filter menghasilkan tahanan aliran yang paling rendah.

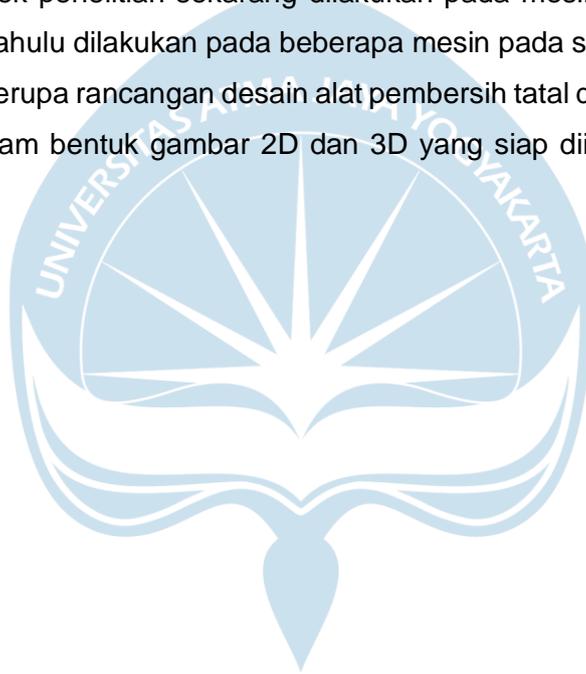
Shaisundaram dkk (2018) melakukan penelitian yang bertujuan untuk mengatasi debu di lingkungan industri kimia agar tidak terhirup oleh pekerja. Hasil dari penelitian ini adalah rancangan desain unit modul pengumpul debu dengan filter kain. Filter kain digunakan untuk menyaring partikel debu yang tidak bisa dipisahkan oleh siklon.

Beberapa penelitian terdahulu menjadi acuan dalam proses perancangan ulang alat pembersih tatal kayu. Alat pembersih tatal dirancang pada mesin tunggal yaitu CNC Router. Alat ini akan menggunakan separator digunakan untuk memisahkan partikel debu dengan udara bersih.

2.1.2. Penelitian Sekarang

Berdasarkan telusuran penelitian sebelumnya, topik yang dibahas dalam penelitian saat ini adalah merancang alat pembersih tatal kayu pada mesin CNC Router yang ditujukan pada perusahaan Wilonna Klaten. Tujuan dari penelitian ini adalah mengurangi efek debu tatal kayu untuk menurunkan gangguan kesehatan pada pekerja dan meningkatkan umur pakai komponen mesin. Penelitian ini menggunakan *tools* berupa kuesioner dan wawancara kepada seluruh pekerja. *Software* yang digunakan untuk membuat perancangan adalah Solidwork 2017.

Penelitian sekarang menggunakan metode yang berbeda dari penelitian sebelumnya yaitu Khan & Bhuiyan (2013), Kosaki dkk (2015), Darmanto & Sarsetyanto (2004), dan Shaisundaram (2018). Metode rasional dipilih pada perancangan alat karena metode ini menggunakan pendekatan yang sistematis pada perancangan desain. Pendekatan sistematis akan meningkatkan kualitas keputusan dan perancangan desain maupun produk akhir. *Tools* penelitian sekarang menggunakan *software solidworks*. *Software* ini dipilih karena dapat mensimulasikan aliran udara pada alat dan dapat mensimulasikan kekuatan rangka alat. Simulasi ini menjadi salah satu faktor evaluasi pada saat perancangan alat. Objek penelitian menjadi salah satu perbedaan dibandingkan penelitian terdahulu. Objek penelitian sekarang dilakukan pada mesin tunggal, sedangkan penelitian terdahulu dilakukan pada beberapa mesin pada suatu pabrik. Hasil dari penelitian ini berupa rancangan desain alat pembersih tatal dan debu. Hasil desain rancangan dalam bentuk gambar 2D dan 3D yang siap diimplementasikan oleh perusahaan.



Tabel 2.1. Perbedaan Penelitian Terdahulu dan Sekarang

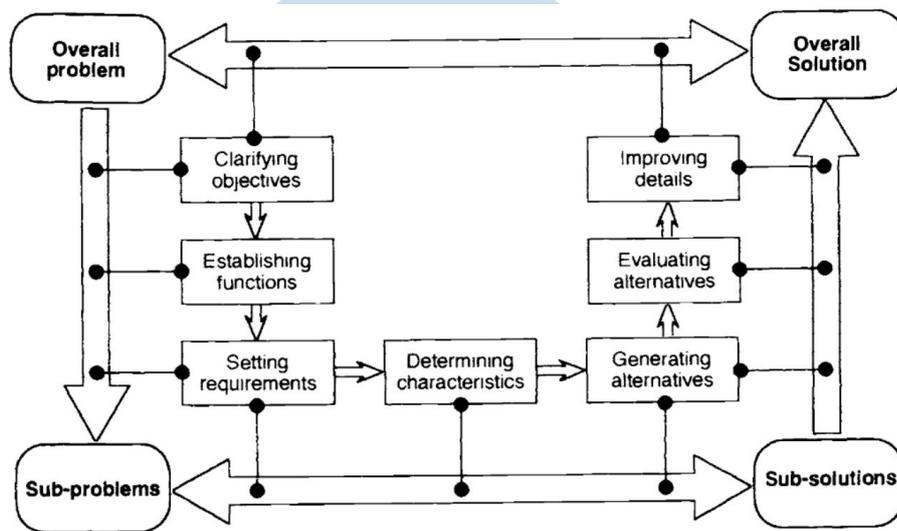
Deskripsi	Penelitian				
	Khan & Bhuiyan (2013)	Kosaki dkk (2015)	Darmanto & Sarsetyanto (2004)	Shainsundaram dkk (2018)	Penelitian sekarang
Tujuan Penelitian	Memperbaiki sistem pengumpul debu konvensional	Perancangan siklon pemisah partikel debu yang efisien	Perancangan siklon pemisah debu dengan filter yang efisien	Perancangan unit modul pengumpul debu	Memperbaiki kondisi lingkungan kerja di mesin CNC router UKM Wilonna
Metode Penelitian	Metode Kreatif	Metode Eksperimen	Metode Eksperimen	Metode Kreatif	Metode Rasional
Tool Penelitian	CAD	SEM Photograph SCRYU/Tetra Large Eddy Simulation (LES)	CAD Ansys	AutoCAD Catia	Solidworks
Hasil Penelitian	Rancangan sistem pengumpul debu yang efisien Tata letak mesin sebuah pabrik untuk menerapkan sistem ini.	Desain siklon dengan efisiensi 98,6%	Pengumpul debu dengan efisiensi 99% Dimensi filter siklon Desain saluran masuk pada siklon	Desain unit modul pengumpul debu hemat energi	Rancangan sistem pengumpul debu di mesin CNC router
Outcomes	<i>Global Journal of Researches in Engineering</i> , 13, Issue 1. (2013)	<i>Powder Technology</i> , 277, 22-35 (2015)	<i>Jurnal Teknik Mesin</i> , XIX, No. 2. (2004)	<i>International Journal of Advance Engineering and Research Development</i> , 5, Issue 3. (2018)	Draft paper journal SINTA

2.2. Dasar Teori

Dasar teori dibutuhkan dalam melakukan perancangan suatu produk. Teori ini menjadi landasan untuk menjawab permasalahan yang ada dan pembuatan konsep rancangan. Teori yang digunakan bersumber dari beberapa macam referensi seperti buku, jurnal, dan internet.

2.2.1. Metode Rasional

Menurut Cross (2000) metode rasional menggunakan pendekatan sistematis dalam perancangan desain. Pendekatan sistematis bertujuan untuk meningkatkan kualitas keputusan desain dan produk akhir. Terdapat tujuh tahap pada metode rasional yang ditunjukkan pada diagram di Gambar 2.2



Gambar 2.2. Diagram Proses Desain dengan Metode Rasional

a. Clarifying Objectives

Tahap pertama dalam mendesain yaitu mengklarifikasi atau menjelaskan tujuan perancangan desain yang akan dilakukan. Tujuan yang jelas akan membantu mengendalikan dan mengelola proses desain. Metode pohon tujuan digunakan untuk mempermudah klarifikasi tujuan. Pohon tujuan digambarkan dalam bentuk diagram yang menggambarkan keterkaitan antar tujuan yang berbeda. Langkah pembuatan pohon tujuan yaitu:

- i. Menyiapkan daftar tujuan desain. Tujuan awal biasanya singkat dan tidak spesifik. Untuk itu diperlukan wawancara kepada klien atau diskusi dengan tim desain agar tujuan menjadi lebih detail dan jelas.
- ii. Membuat daftar urutan tujuan dari level tinggi ke rendah.

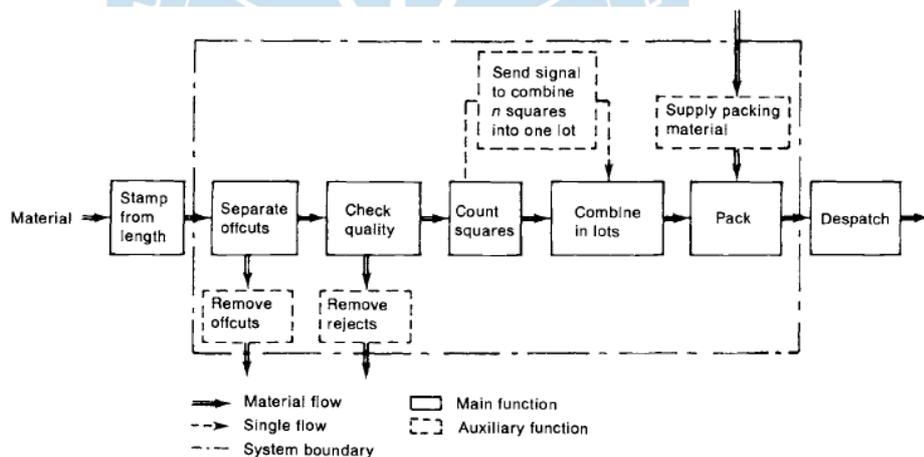
iii. Menggambar diagram tujuan. Diagram ini berisi mengenai relasi hirarki dan hubungan antar setiap tujuan.

b. *Establishing Functions*

Pada tahap ini ditetapkan fungsi dan batas sistem yang diperlukan atau diinginkan oleh klien pada suatu desain produk. Berikut langkah-langkah untuk menetapkan fungsi:

- i. Menentukan fungsi keseluruhan untuk desain. Fungsi tersebut digunakan untuk memproses masukan sehingga dihasilkan keluaran yang diinginkan.
- ii. Menjabarkan fungsi keseluruhan menjadi beberapa sub fungsi. Sub fungsi berisi tugas-tugas yang harus dilakukan untuk membentuk fungsi utama.
- iii. Menggambarkan diagram blok yang menunjukkan interaksi antar sub fungsi.
- iv. Menggambarkan batasan sistem. Batasan sistem dapat berasal dari permintaan klien maupun kemampuan dari perancang.
- v. Mencari komponen yang sesuai untuk melakukan tugas sub fungsi.

Pada gambar 2.2. ditunjukkan contoh diagram penetapan fungsi untuk pengepakan karpet



Gambar 2.3. Contoh Diagram Fungsi (Cross, 2000)

c. *Setting Requirements*

Tahap ini merupakan pengaturan persyaratan dari rancangan yang dibuat. Serangkaian persyaratan ini terdiri dari spesifikasi produk atau mesin. Tujuan dari penentuan spesifikasi adalah membuat spesifikasi yang akurat untuk memenuhi kinerja yang diinginkan dari suatu desain. Prosedur penentuan spesifikasi sebagai berikut:

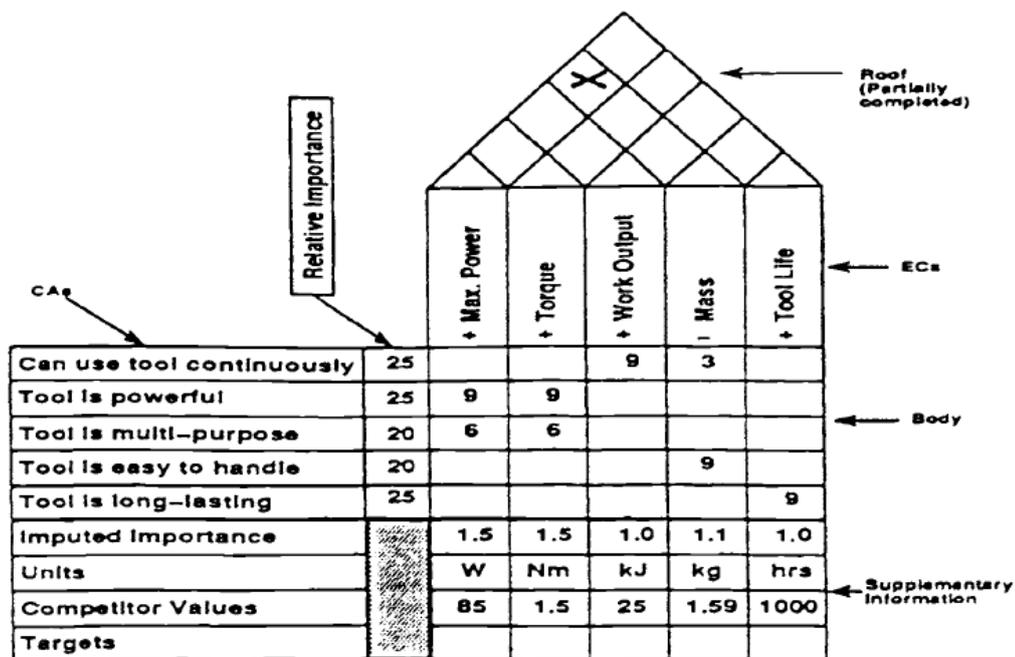
- i. Mempertimbangkan berbagai tingkat generalisasi solusi. Klasifikasi tingkatan tersebut dimulai dari yang paling umum ke khusus yaitu alternative produk, tipe produk, dan fitur produk.
- ii. Menentukan tingkat generalisasi untuk beroperasi. Keputusan ini biasanya dibuat oleh klien. Semakin tinggi tingkat generalitas maka semakin tinggi pula kebebasan yang dimiliki perancang.
- iii. Mengidentifikasi atribut kinerja yang diperlukan. Setiap mesin memiliki serangkaian atribut yang perlu ditentukan. Atribut ini seperti kenyamanan, daya tahan, biaya, dan keamanan.
- iv. Menentukan spesifikasi secara tepat dan ringkas untuk setiap atribut.

d. *Determining Characteristics*

Tahap ini merupakan penentuan karakteristik dari sebuah produk yang akan dibuat. Metode *Quality Function Deployment* (QFD) digunakan untuk menentukan karakteristik yang sesuai dengan kebutuhan pengguna. Menurut Kiran (2017) QFD merupakan proses perencanaan dengan pendekatan kualitas untuk desain, pengembangan, dan implementasi produk baru yang didorong oleh kebutuhan dan nilai-nilai pelanggan. Menurut Cross (2000), langkah-langkah QFD yaitu sebagai berikut:

- i. Mengidentifikasi permintaan pelanggan mengenai atribut produk. Identifikasi keinginan pelanggan dapat menggunakan teknik riset pasar.
- ii. Menentukan atribut yang relative penting. Atribut yang telah diidentifikasi belum tentu memiliki tingkat kepentingan yang sama bagi pelanggan. Maka perlu adanya pemilahan atribut yang dirasa penting bagi pelanggan. Pelanggan dapat diminta untuk memberikan poin pada setiap atribut sehingga didapatkan atribut yang paling diinginkan.
- iii. Mengevaluasi atribut dari produk pesaing. Desain rancangan harus dapat memenuhi permintaan pelanggan lebih baik dari produk pesaing. Maka perlu adanya analisis berkaitan dengan atribut-atribut produk.
- iv. Membuat matriks atribut produk terhadap karakteristik teknik. Karakteristik teknik harus nyata dan terukur, sehingga dapat dikontrol.
- v. Mengidentifikasi relasi karakteristik teknik dan atribut produk.
- vi. Mengidentifikasi interaksi yang relevan antar karakteristik teknik.
- vii. Menetapkan target poin yang perlu dicapai untuk karakteristik teknik.

Pada Gambar 2.3. ditunjukkan contoh matriks untuk perancangan desain *cordless drill*.



Gambar 2.4. Matriks Perancangan Desain Cordless Dril. (Cross, 2000)

e. *Generating Alternatives*

Tahap ini bertujuan untuk mencari alternatif-alternatif baru untuk menyelesaikan masalah. Alternatif baru bisa didapatkan menggunakan metode morfologis. Tujuan metode ini adalah untuk pencarian solusi baru secara lebih luas. Prosedur metode ini yaitu:

- i. Mendata karakteristik atau fungsi yang penting untuk produk. Tujuannya untuk menetapkan aspek penting yang harus ada di produk.
- ii. Membuat daftar aturan untuk mencapai fitur atau fungsi yang diinginkan. Daftar ini berisi sub-solusi yang jika digabungkan akan membentuk solusi baru.
- iii. Membuat bagan yang berisi semua sub-solusi. Bagan ini berisi beberapa solusi beserta sub-solusi yang diperlukan.
- iv. Mengidentifikasi kombinasi sub-solusi yang mungkin.

f. *Evaluating Alternatives*

Alternatif-alternatif yang telah dikumpulkan kemudian dievaluasi pada tahap ini. Evaluasi dilakukan dengan cara pembobotan nilai sesuai dengan tingkat kepentingan alternatif untuk mencapai tujuan. Berikut ini adalah prosedur metode pembobotan:

- i. Mendata tujuan desain yang ingin dicapai. Tujuan yang dibuat harus dapat dinilai secara kuantitatif.

- ii. Mengurutkan tujuan dari yang paling penting. Dapat dilakukan dengan membandingkan setiap tujuan menggunakan matriks.
- iii. Menetapkan bobot relatif untuk setiap tujuan.
- iv. Memberikan skor untuk setiap tujuan. Skor dapat menggunakan rentang nilai 0-4 ataupun 0-10.
- v. Menghitung dan membandingkan nilai utilitas alternative. Perhitungan dilakukan dengan mengalikan bobot dan skor setiap tujuan. Alternative terbaik memiliki nilai tertinggi.

g. *Improving Details*

Ini merupakan tahap terakhir yang bertujuan untuk mengembangkan produk dengan cara meningkatkan nilai produk bagi pembeli atau mengurangi biaya produksi atau keduanya. Metode rekayasa nilai digunakan pada tahap ini dengan prosedur sebagai berikut:

- i. Mendata komponen yang terpisah dari produk dan mengidentifikasi fungsi setiap komponen.
- ii. Menentukan nilai fungsi yang telah diidentifikasi. Riset pasar menjadi dasar penilaian fungsi karena fungsi pada produk tersebut harus dapat dirasakan oleh pelanggan.
- iii. Menentukan biaya komponen. Perhitungan biaya merupakan elemen dari keseluruhan biaya produk setelah selesai dirakit. Sehingga terdapat penambahan biaya tenaga kerja, mesin, dan operasional.
- iv. Mengevaluasi alternatif dan memilih perbaikan.

2.2.2. Karakteristik Material Kayu

Perusahaan Wilonna menggunakan material kayu sebagai bahan baku utama dalam proses produksi. Jenis material kayu yang digunakan antara lain kayu mahoni, jati, nindi, dan jati belanda. Menurut Dumanauw (2001) setiap jenis pohon menghasilkan sifat kayu yang berbeda-beda. Namun secara umum sifat kayu terdiri dari sifat fisik, mekanik, dan kimia.

a. Sifat fisik

Sifat fisik kayu antara lain:

i. Berat jenis

Sifat fisik kayu dapat dilihat dari berat jenisnya. Semakin besar berat jenis kayu maka makin kuat kayu tersebut. Kayu memiliki berat jenis antara 0,2 gram/cm³ hingga 1,28 gram/cm³. Berat jenis merupakan perbandingan berat suatu obyek dengan berat air pada volume yang sama.

ii. Higroskopik

Higroskopik merupakan sifat dapat menyerap dan melepaskan air atau kelembapan. Semakin lembab udara sekitar maka akan makin tinggi kelembapan kayu.

iii. Serat

Serat kayu menunjukkan arah sel-sel kayu didalam sumbu batang pohon. Alur-alur yang terdapat pada permukaan kayu dapat digunakan untuk mendeteksi serat. Jika arah sel kayu sejajar dengan sumbu batang berarti kayu berserat halus. Jika sel-sel kayu menyimpang atau tidak sejajar dengan sumbu batang maka termasuk berserat mencong. Serat mencong dibagi menjadi empat jenis yaitu serat berpadu, berombak, terpilin, dan diagonal.

iv. Keawetan alami

Kayu memiliki ketahanan terhadap unsur-unsur perusak kayu seperti jamur, rayap, cacing laut dan lainnya. Sifat ini disebabkan karena adanya zat ekstraktif atau racun. Misalnya pada kayu jati memiliki *tectoquinom* dan kayu ulin memiliki *silika*.

b. Sifat mekanik

Sifat mekanik kayu merupakan sifat kayu untuk bertahan dari gaya luar. Menurut Budianto (1996) dan Dumanauw (2001) sifat mekanik kayu terdiri dari:

i. Keteguhan Tarik

Kekuatan kayu untuk menahan gaya tarik dari luar. Kekuatan tarik terbesar didapatkan jika gaya dari luar sejajar dengan arah serat kayu.

ii. Keteguhan tekan/kompresi

Keteguhan tekan merupakan kekuatan kayu untuk bertahan dari muatan atau beban. Keteguhan tekan kayu dibedakan menjadi dua macam, yaitu keteguhan tekan tegak lurus arah serat dan keteguhan tekan sejajar arah serat. Keteguhan tekan sejajar arah serat memiliki ketahanan terhadap gaya tekan lebih baik.

iii. Keteguhan geser

Keteguhan geser adalah ketahanan kayu dari gaya-gaya yang membuat kayu bergeser. Sifat ini dibagi menjadi keteguhan geser sejajar arah serat, keteguhan geser tegak lurus arah serat, dan keteguhan geser miring.

iv. Keteguhan lengkung/lentur

Kekuatan untuk bertahan dari gaya yang membuat kayu melengkung. Sifat ini dibagi dua jenis. Keteguhan lengkung statik merupakan kekuatan kayu

bertahan dari gaya yang mengenai kayu secara perlahan. Keteguhan pukul merupakan kemampuan kayu bertahan dari gaya yang mengenai secara mendadak.

v. Keteguhan belah

Keteguhan belah adalah kemampuan kayu bertahan dari gaya yang berusaha membelah kayu. Kayu memiliki sifat mudah terbelah pada jari-jari arah radial.

vi. Keuletan

Keuletan merupakan kekuatan kayu untuk bertahan terhadap tegangan secara berulang-ulang yang melampaui batas proporsional serta mengakibatkan perubahan bentuk permanen.

c. Sifat kimia

Komponen kimia kayu berperan penting sebagai ketahanan kayu terhadap makhluk perusak kayu dan digunakan untuk menentukan proses pengolahan kayu. Komponen kimia tersusun dari unsur-unsur kimia. Komposisi unsur-unsur kimia dalam kayu terdiri dari karbon (50%), hidrogen (6%), nitrogen (0,04-0,10%), abu (0,2-0,5%), dan sisanya oksigen. Komponen kimia kayu terdiri dari selulosa, lignin, pentosan, zat ekstraktif, dan abu. Pada Tabel 2.2. menunjukkan komponen kimia menurut golongan kayu.

Tabel 2.2. Komponen Kimia Menurut Golong Kayu (Dumanauw, 2001)

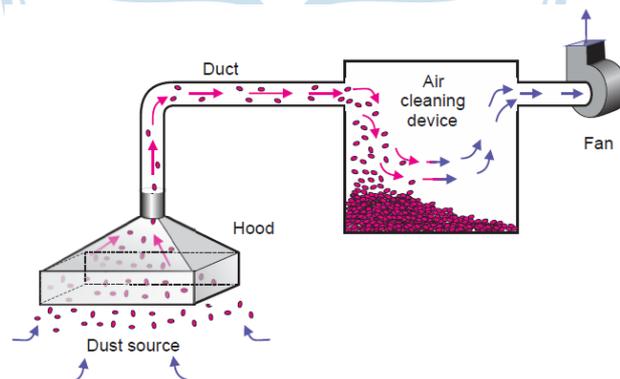
Komponen Kimia	Golongan Kayu	
	Kayu Daun Lebar (%)	Kayu Daun Jarum (%)
Selulosa	40-45	41-44
Lignin	18-33	28-32
Pentosane	21-24	8-13
Zat ekstraktif	1-12	2,03
Abu	0,22-6	0,89

Meskipun kayu memiliki karakteristik umum yang hampir sama, namun setiap jenis kayu memiliki karakteristik massa jenis yang beragam. Reyes dkk (1992) menyebutkan karakteristik massa jenis kayu antara lain kayu Mahoni (*Swietenia macrophylla King*) sebesar $\pm 530 \text{ kg/m}^3$, kayu Jati (*Tectona grandis Linn*) sebesar $\pm 550 \text{ kg/m}^3$, dan kayu Jati Belanda (*Guazuma ulmifolia Lamk*) sebesar $\pm 500 \text{ kg/m}^3$. Kayu jenis lain yaitu Mindi (*Melia azedarach Linn*) memiliki massa jenis sebesar $\pm 530 \text{ kg/m}^3$ seperti yang disebutkan Idris dkk (2008) dalam penelitiannya. Rogozinski dkk (2017) dalam penelitiannya menyebutkan kayu MDF (*Medium Density Fibreboard*) memiliki massa jenis $\pm 750 \text{ kg/m}^3$ dan kayu HDF (*High Density Fibreboard*) memiliki massa jenis $\pm 860 \text{ kg/m}^3$.

Pada industri pemrosesan kayu akan terjadi pekerjaan transformasi kayu yang menghasilkan serbuk kayu dan debu kayu. Menurut Panshin dkk (1982) pengerjaan kayu akan menghasilkan debu sekitar 10 sampai 13% dari total yang dihasilkan. Kementerian Kesehatan Republik Indonesia (2018) menyebutkan partikel debu yang berbahaya bagi manusia berukuran kurang dari 10 μm . Cavallo dan Baj (2008) menyebutkan diameter rata-rata debu kayu umumnya antara 10 hingga 30 μm , namun pada operasi pemolesan, debu yang dihasilkan berkisar 7 μm . Rogozinski (2015) menyebutkan pada penelitiannya bahwa kayu komposit menghasilkan debu yang lebih halus dibandingkan kayu solid. Rogozinski dkk (2017) menyebutkan pada 1000 gr debu kayu komposit terdapat hingga 0,12% debu dengan diameter kurang dari 1 μm , 0,16% debu dengan diameter 1 s.d. 2 μm , dan 0,97% debu dengan diameter 2,5 s.d 10 μm .

2.2.3. Dust Collector (Pengumpul Debu)

Partikel debu dapat dikumpulkan dengan mekanisme yang berbeda-beda tergantung pada ukuran dan kecepatan partikel debu tersebut. Menurut Cecala dkk (2019) sistem pengumpulan debu terdiri dari empat komponen utama yaitu *hood*, *duct*, *air cleaning device*, dan *fan*. Pada Gambar 2.4. menunjukkan empat komponen utama pada sistem pengumpul debu.



Gambar 2.5. Komponen Utama Sistem Pengumpul Debu (Cecala dkk, 2019)

a. Hood (tudung).

Komponen ini berfungsi untuk menangkap debu dan menciptakan laju aliran udara agar debu dapat masuk ke saluran hisap. *Hood* terbagi menjadi 3 kategori yaitu:

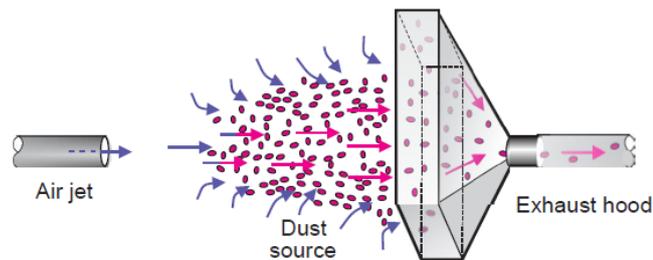
i. *Enclosing hoods*

Hood tipe ini bersifat tertutup sebagian atau seluruhnya sehingga memberikan aliran udara yang diperlukan untuk menangkap debu dan mencegah mencemari lingkungan kerja. Tipe ini paling efektif karena menutupi seluruh proses

pembentukan debu. Pada tipe ini kecepatan angin pada *hood* dihitung dengan cara membagi laju aliran udara dengan luas permukaan.

ii. *Capturing hoods*

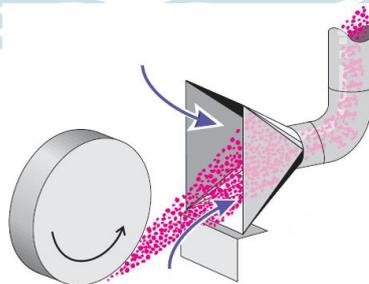
Ketika tidak memungkinkan menggunakan tipe *enclosing*, maka tipe ini diterapkan dengan cara menempatkan *hoods* sedekat mungkin dengan sumber debu. Saat jarak hisapan dengan sumber debu terlalu jauh, digunakan sistem *push-pull*. Pada Gambar 2.5. ditunjukkan *air jet* digunakan sebagai pendorong udara agar partikel debu dapat masuk ke area *hoods*.



Gambar 2.6. Contoh Sistem *Push-Pull* (Cecala dkk, 2019)

iii. *Receiving hoods*

Tudung tipe ini ditempatkan dekat dengan sumber debu untuk menerima debu secara langsung. Pada Gambar 2.6. merupakan contoh penggunaan tudung di mesin gerinda. Tudung ditempatkan tepat dimana arah debu dihasilkan.



Gambar 2.7. Contoh *Receiving Hoods* (Cecala dkk, 2019)

b. *Ducting* (Saluran Hisap)

Komponen ini berfungsi untuk menghubungkan *hood* dengan *air cleaning device*. Perhitungan luas penampang saluran hisap ditentukan berdasarkan bentuknya, biasanya saluran hisap memiliki penampang berbentuk lingkaran. Saluran hisap dengan penampang lingkaran dapat dihitung luas penampangnya dengan rumus sebagai berikut:

$$A_d = \frac{\pi D_d^2}{4} \quad (2.1)$$

Dimana:

A_d = Luas penampang *ducting* (ft²)

D_d = Diameter *ducting* (ft)

Luas penampang saluran hisap juga merupakan hasil bagi dari debit aliran dan kecepatan aliran. Sehingga saluran hisap dengan penampang lingkaran dapat dihitung luas penampangnya dengan rumus sebagai berikut:

$$A_d = \frac{Q}{v_t} \quad (2.2)$$

Dimana:

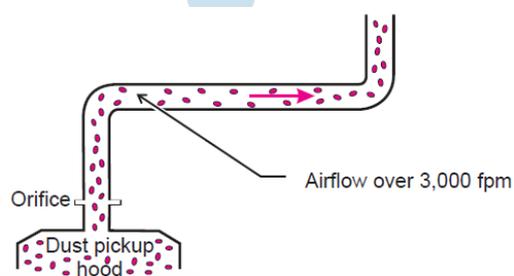
A_d = Luas penampang *ducting* (ft²)

Q = Debit aliran (*Cubic feet per minute*)

v_t = Kecepatan aliran (*Feet per minute*)

Terdapat tiga tipe dasar sistem untuk membawa debu ke *collector* yaitu:

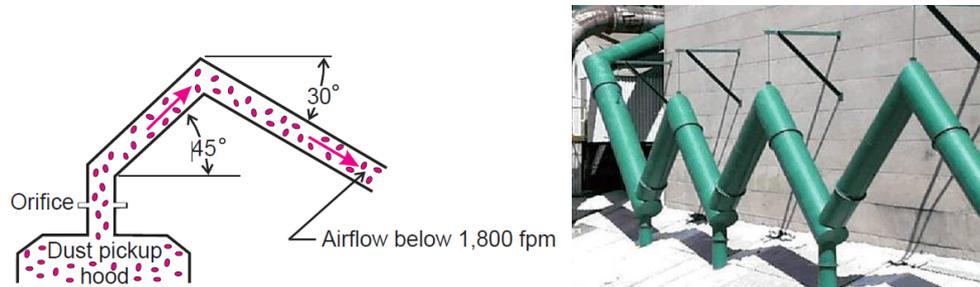
- i. *High velocity*. Tipe ini paling umum digunakan di industri dimana kecepatan udara berkisar antara 3000 s.d. 4500 FPM. Sistem ini mampu membawa udara dengan partikel debu yang lebih besar dari 10 μm . Keuntungan sistem ini yaitu tidak ada pengendapan partikel di saluran hisap dan mudah dirancang karena dapat berjalan baik pada saluran vertikal atau horizontal seperti pada Gambar 2.7.



Gambar 2.8. Sistem Saluran *High Velocity* (Cecala dkk, 2019)

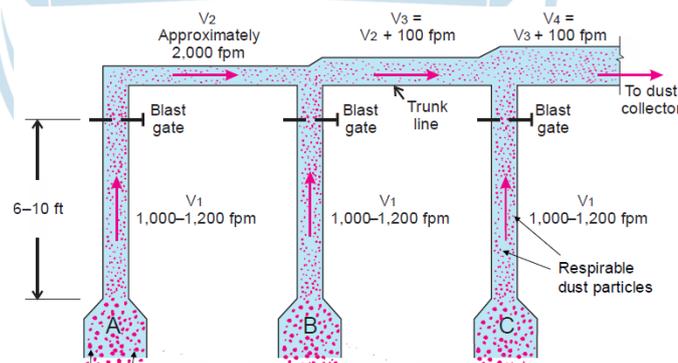
Kerugian dari sistem ini yaitu resiko ledakan lebih tinggi karena terjadi gesekan abrasif terutama pada lengkung yang menyebabkan perubahan arah. Gesekan tersebut dalam jangka panjang juga menyebabkan keausan pada saluran hisap, sehingga memerlukan perawatan dan biaya material yang tinggi.

- ii. *Low velocity*. Pada tipe ini kecepatan udara dibatasi dibawah 1800 FPM. Selain itu saluran hisap di desain miring seperti pada Gambar 2.8. dengan tujuan agar partikel berukuran besar dapat jatuh ketitik penampungan dan kembali ke proses.



Gambar 2.9. Sistem Saluran *Low Velocity* (Cecala dkk, 2019)

- iii. *Modified low velocity* (MLV). Tipe ini merupakan gabungan dari sistem kecepatan tinggi dan rendah. Prinsipnya adalah penggunaan *blast gate* seperti pada Gambar 2.9. untuk menjaga kecepatan udara tetap rendah di area vertical. Namun pada area horizontal kecepatan angin dapat lebih tinggi dari sistem *high velocity*, sehingga debu tidak akan mengendap di saluran hisap.



Gambar 2.10. Sistem Saluran *Modified Low Velocity* (Cecala dkk, 2019)

Pada pemilihan *ducting* perlu diperhatikan kecepatan aliran udara yang diperlukan untuk menghisap partikel debu. Kecepatan udara harus cukup untuk menarik debu kedalam saluran hisap. Kecepatan aliran udara di saluran hisap menurut *American Conference of Governmental Industrial Hygienists* (ACGIH) ditunjukkan pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3. Kecepatan Udara di Saluran Hisap (Khan & Bhuiyan, 2013)

Tipe Debu	Kecepatan di saluran cabang (FPM)	Kecepatan di saluran utama (FPM)
Pengerjaan logam	4500	4000
Pengerjaan kayu	4000	3500
Debu ringan lainnya	4000	3500

Selain kecepatan aliran udara, debit aliran juga menjadi faktor penting yang mempengaruhi pemilihan ukuran *ducting*. Nagyszalanczy (2002) menjelaskan kebutuhan debit aliran untuk pengerjaan kayu pada setiap mesin yang berbeda. Pada Gambar 2.10. ditunjukkan debit aliran yang direkomendasikan pada mesin router antara 200 s.d. 350 CFM dengan ukuran *branch ducting* antara 3 s.d. 4 inch. Penentuan ukuran *main ducting* didasarkan pada debit aliran yang dibutuhkan. Pada Tabel 2.4. ditunjukkan penentuan ukuran diameter *main ducting* berdasarkan debit aliran.

Tabel 2.4. Penentuan Diameter *Ducting* (Nagyszalanczy, 2002)

Kebutuhan CFM Terbesar	Diameter <i>Main Duct</i> (untuk kecepatan udara 3.500 fpm)
Hingga 300 cfm	4 inch
Hingga 475 cfm	5 inch
Hingga 675 cfm	6 inch
Hingga 935 cfm	7 inch
Hingga 1.200 cfm	8 inch

Machine/Dust Source	CFM Requirements	Recommended Duct Size (for 4,000-fpm air velocity)
Table saw or panel saw Up to 8-in. blade	350 cfm	3 in.
10-in. to 16-in. blade Heavy-duty operation with dado or molding head	350-500 cfm 650 cfm	4 in.-5 in. 6 in.
Top pickup Radial-arm saw (rear-hood and blade-guard pickups)	100-200 cfm*	2 in.-3 in.
10-in. or smaller blade 10-in. to 16-in. blade	350 cfm 550 cfm	4 in. 4 in.
Thickness planer (single head) 10 in. to 12 in. 15 in. to 20 in. 20 in. to 24 in.	500 cfm 600-800 cfm 1,000 cfm	5 in. 5 in.-6 in. 7 in.
Bandsaw (either single-top hood or dual pickup) 14-in. to 16-in. wheels 18-in. to 24-in. wheels Band resaw; blade 2 in. to 3 in. wide	400 cfm 550 cfm 550-750 cfm	4 in. 5 in. 5 in.-6 in.
Jointer Up to 8 in. wide 8 in. to 12 in. wide	350-400 cfm 550 cfm	4 in. 5 in.
Combination sander (6x48 belt, 9-in. disk)	600 cfm	5 in.
Disk sander (single or dual pickup) 12 in. 15 in. to 20 in.	350 cfm 550 cfm	4 in. 5 in.
Horizontal belt edge sander (single or dual pickup) 4 in. to 6 in. wide	550 cfm	5 in.
Vertical belt sander, up to 6 in. wide	400 cfm	4 in.-5 in.
Oscillating spindle sander, up to 50 sq. in. of abrasive	350 cfm	4 in.
Drum thickening sander (single drum) Up to 12-in. drum, 200-sq.-in. area 12-in. to 24-in. drum; 200- to 400-sq.-in. area 24-in. or larger drum; 400- to 700-sq.-in. area	400 cfm 550 cfm 650 cfm	4 in. 5 in. 6 in.
Drum thickening sander (dual drum) With single 5-in. or 6-in. dust port With dual 4-in. dust ports	800 cfm 700 cfm	6 in. 6 in.
Wide-belt sander 12-in.- to 15-in.-wide belt 15-in.- to 24-in.-wide belt	500-800 cfm 800-1,200 cfm	5 in.-6 in. 6 in.-8 in.
Spindle shaper (single arbor) Up to ¾-hp motor 1½-hp motor 3-hp motor	400 cfm** 550 cfm** 700 cfm**	4 in. 5 in. 6 in.
Router table or router-based joinery machine	200-350 cfm**	3 in.-4 in.
Drill press Small or large (also with mortising attachment)	350-400 cfm**	4 in.
Scrollsaw	200-350 cfm	3 in.-4 in.
Wood lathe Small Medium Large	400 cfm*** 550 cfm*** 650-750 cfm***	4 in. 5 in. 6 in.
Floor sweep	350-750 cfm	4 in.-6 in.
Cleanup hose 2½-in. vacuum-type hose 4-in. flexible hose	125 cfm 350 cfm	3 in. 4 in.

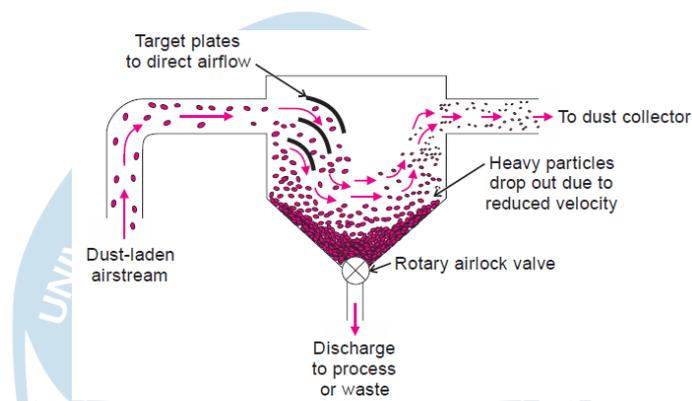
*Add this cfm requirement to cfm needed for bottom-hood pickup.
Chip production varies with type of cutter or bit used and rate of feed.
Varies with type of tool used and method with which cut is accomplished.*

Gambar 2.11. Kebutuhan Debit Aliran (Nagyszalanczy, 2002)

c. *Air cleaning device* (alat pembersih udara).

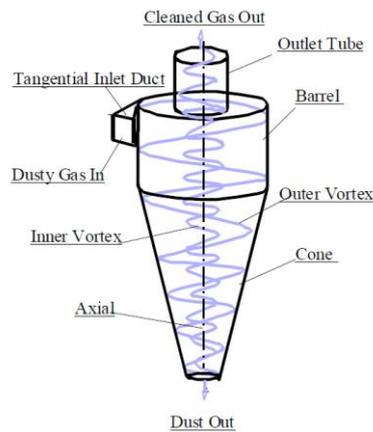
Komponen ini berfungsi untuk membersihkan aliran udara dari partikel debu. Menurut Cecala dkk (2019) *air cleaning device* dibagi menjadi beberapa jenis yaitu:

- i. *Gravity Separators*. Separator ini berfungsi sebagai pemisah partikel dengan cara memperlambat dan mengubah arah aliran udara. Aliran udara yang masuk secara horizontal akan diarahkan ke bawah oleh *target plates* didalam separator seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.11. Sehingga partikel-partikel besar akan jatuh kebawah karena gaya gravitasi, sedangkan partikel yang lebih halus seperti debu akan tetap mengalir dalam aliran udara.



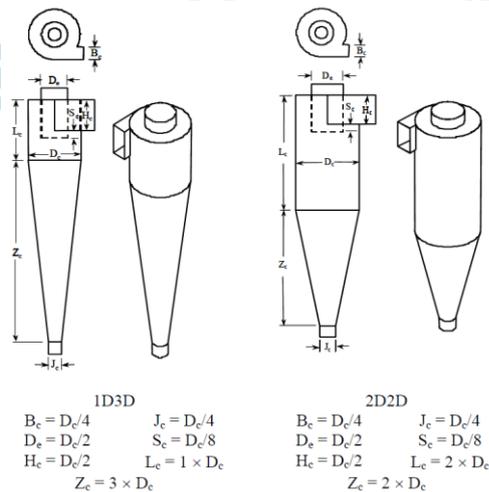
Gambar 2.12. Gravity Separators (Cecala dkk, 2019)

- ii. *Centrifugal collectors* atau *Cyclone*. Separator jenis ini memisahkan partikel menggunakan gaya sentrifugal. Terdapat dua aliran pusaran di dalam siklon. Pusaran utama atau luar berputar ke bawah dan membawa partikel kasar. Kemudian dilanjutkan terbentuk pusaran dalam dibagian bawah siklon, berputar ke atas dengan membawa partikel halus. Cecala dkk (2019) menjelaskan siklon memiliki efisiensi rendah dalam menghilangkan partikel halus seperti debu. Namun memiliki efisiensi yang baik dalam menghilangkan partikel kasar. Suyitno (2005) menyebutkan siklon dapat memiliki efisiensi lebih dari 98% untuk partikel diatas 346 microns. Siklon biasanya digunakan untuk menghilangkan partikel kasar yang dapat merusak kantong pengumpul debu atau filter udara. Pada Gambar 2.12. ditunjukkan contoh desain siklon.

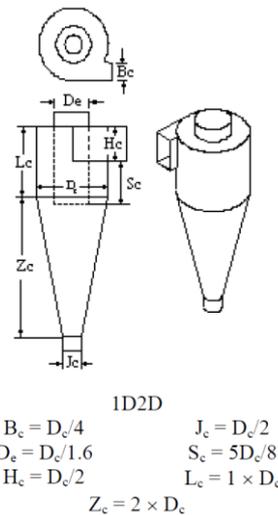


Gambar 2.13. Siklon (Wang, 2004)

Secara umum siklon terdiri dari beberapa bagian yaitu *barrel* yang merupakan bagian atas yang berbentuk silinder dan *cone* yang merupakan bagian bawah berbentuk kerucut. Wang (2004) menyebutkan terdapat beberapa konfigurasi siklon yaitu 2D2D oleh Shepherd dan Lapple, 1D3D oleh Parnell dan Davis, dan 1D2D oleh Simpson dan Parnell. Pada gambar 2.13. ditunjukkan konfigurasi dari siklon jenis 1D3D dan 2D2D. Sedangkan pada Gambar 2.14. ditunjukkan konfigurasi siklon 1D2D.



Gambar 2.14. Konfigurasi Siklon 1D3D dan 2D2D (Wang, 2004)



Gambar 2.15. Konfigurasi Siklon 1D2D (Wang, 2004)

Ketiga konfigurasi siklon tersebut memiliki nilai efisiensi pengumpulan debu yang berbeda-beda. Wang (2004) menyebutkan pada siklon 1D2D memiliki nilai efisiensi 95%, siklon 2D2D memiliki nilai efisiensi 96%, dan siklon 1D3D memiliki nilai efisiensi sebesar 97%.

Berdasarkan debit udara didalam siklon dan kecepatan inlet dapat dihitung diameter suatu siklon. Perhitungan diameter siklon dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$D_c = \sqrt{\frac{8Q}{V_i}} \quad (2.3)$$

Dimana:

D_c = Diameter Siklon (m)

Q = Debit aliran (m^3/s)

V_i = Kecepatan inlet siklon (m/s)

Kecepatan fluida saat memasuki siklon (V_i) berpengaruh terhadap efisiensi pemisahan siklon menurut Kalen dan Zenz dalam jurnal Darmanto & Primanto (2017). Penelitian tersebut menyatakan bahwa terdapat kecepatan masuk maksimum dimana *reentrainment* partikel mulai terjadi. *Re entrainment* merupakan proses masuknya kembali partikel ke dalam aliran gas, sehingga partikel tidak terpisah dengan udara didalam siklon. Maka untuk

mendefinisikan batasan tersebut digunakan Kecepatan Saltasi sebagai berikut:

$$V_s = \frac{4,913 \times W \times K_b^{0,4} \times D_c^{0,067} \times \sqrt{V_i^2}}{\sqrt[3]{1 - K_b}} \quad (2.4)$$

$$K_b = \frac{B_c}{D_c} \quad (2.5)$$

$$W = \sqrt[3]{\frac{4 \times g \times \mu \times (\rho_p - \rho)}{3 \times \rho^2}} \quad (2.6)$$

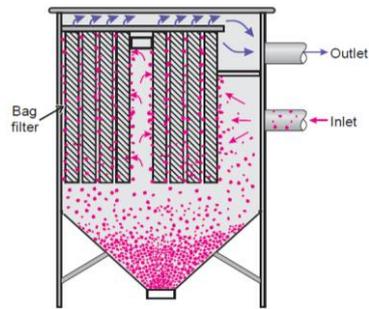
Dimana:

- V_s = Kecepatan saltasi (m/s)
- W = Kecepatan Ekuivalen (m/s)
- K_b = Rasio lebar saluran masuk siklon dengan diameter siklon
- D_c = Diameter siklon (m)
- V_i = Kecepatan masuk fluida (m/s)
- B_c = Lebar saluran masuk siklon (m)
- g = Percepatan gravitasi (m/s²)
- μ = Viskositas fluida (kg/m.s)
- ρ_p = Massa jenis partikel (kg/m³)
- ρ = Massa jenis fluida (kg/m³)

Efisiensi siklon maksimum didapatkan pada saat kecepatan masuk fluida sebesar 1,25 hingga 1,35 dari kecepatan saltasi. Jika kecepatan fluida lebih besar dari 1,35 kecepatan saltasi maka akan terjadi *re-entrainment*. Maka dirumuskan sebagai berikut.

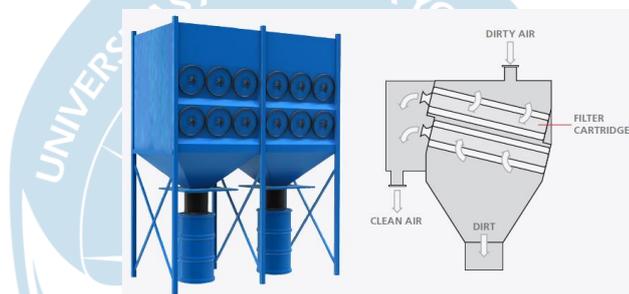
$$1,25 V_s \leq V_i \leq 1,35 V_s \quad (2.7)$$

- iii. *Baghouse collectors*. Prinsip kerja separator ini adalah memisahkan partikel debu dengan cara menyaring udara melalui kantong filter seperti pada Gambar 2.15.



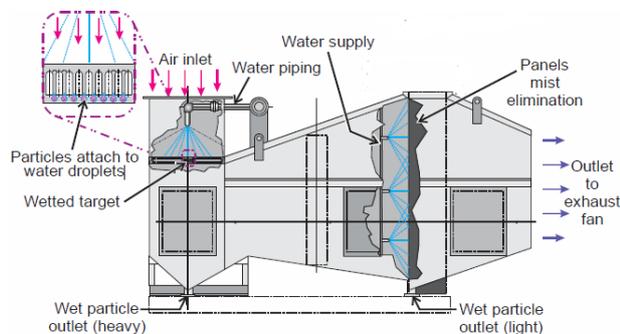
Gambar 2.16. Baghouse Collector (Cecala dkk, 2019)

iv. *Catridge collectors*. Tipe ini menangkap partikel debu dengan memaksa udara melalui *catridge* yang berbentuk tabung filter seperti pada Gambar 2.16. Partikel debu akan terperangkap di bagian luar filter, sedangkan udara bersih akan masuk ke dalam tabung filter dan keluar melalui saluran buang.



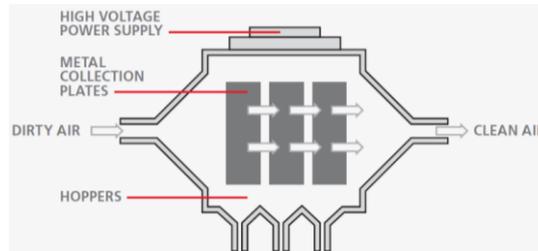
Gambar 2.17. Catridge Collectors (Aerodyne Environmental)

v. *Wet scrubbers*. Tipe ini menggunakan media air yang disemprotkan ke aliran udara sehingga akan membasahi partikel debu dan jatuh di tempat penampung. Sistem *wet scrubbers* ditunjukkan pada Gambar 2.17.



Gambar 2.18. Wet Scrubbers (Cecala dkk, 2019)

- vi. *Electrostatic precipitator* (ESPs). Tipe ini menggunakan tegangan listrik untuk mengisi muatan listrik pada plat sehingga partikel bermuatan ion negative akan menempel pada plat. Sistem ESPs ditunjukkan pada Gambar 2.18.

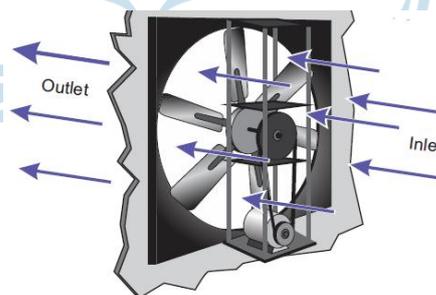


Gambar 2.19. *Electrostatic Precipitator* (Aerodyne Environmental)

- d. Fan (kipas penghisap)

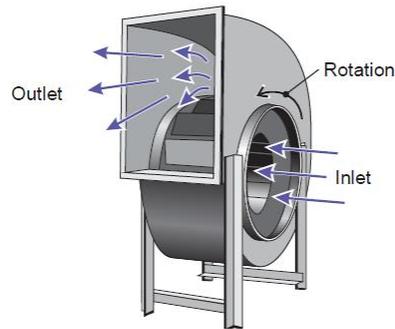
Fan merupakan komponen penting dalam sistem pengumpulan debu. Komponen ini berfungsi untuk menciptakan hisapan aliran udara yang digunakan untuk menarik udara dan partikel debu masuk ke sistem. *Fan* dibagi menjadi dua tipe dasar yaitu

- i. *Axial flow fan* merupakan kipas yang menggerakkan udara ke arah aksial atau parallel dengan sumbu rotasi kipas. Pada Gambar 2.19. ditunjukkan ilustrasi kipas tipe ini.



Gambar 2.20. Ilustrasi *Axial Flow Fan* (Cecala dkk, 2019)

- ii. *Centrifugal Fan* merupakan kipas yang menghasilkan aliran udara tegak lurus dengan sumbu rotasi kipas. Pada Gambar 2.20. ditunjukkan ilustrasi *centrifugal fan*.



Gambar 2.21. Centrifugal Fan (Cecala dkk, 2019)

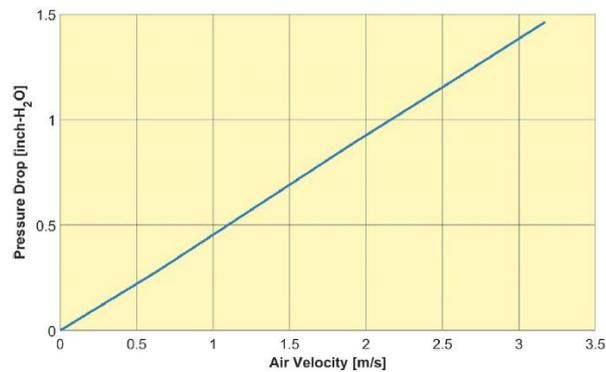
e. Filter Udara

Environmental Protection Agency (2009) menjelaskan filter berfungsi untuk menangkap partikel udara seperti debu, serbuk sari, spora jamur, dan bulu binatang. Filter memiliki nilai efisiensi minimum atau *minimum efficiency reporting value* (MERV). MERV memiliki tingkatan dari 1 hingga 20, setiap tingkatan memiliki aplikasi yang berbeda-beda. Pada Gambar 2.21. ditunjukkan klasifikasi MERV.

MERV	Particle Size Removal Efficiency, Percent in Particle Size Range, μm			Dust-Spot Efficiency Percent	Particle Size and Typical Controlled Contaminant	Typical Applications	Typical Air Filter/Cleaner Type
	0.3 to 1	1 to 3	3 to 10				
20	≥ 99.999	in 0.1 – 0.2 μm particle size		—	< 0.3 μm Virus (unattached) Carbon dust Sea salt All combustion smoke	Electronics manufacturing Pharmaceutical manufacturing Carcinogenic materials	HEPA/ULPA Filters*
19	≥ 99.999	in 0.3 μm particle size		—			
18	≥ 99.99			—			
17	≥ 99.97			—			
16	> 95	> 95	> 95	—	0.3-1 μm All bacteria Droplet nuclei (sneeze) Cooking oil Most smoke Insecticide dust Most face powder Most paint pigments	Superior commercial buildings Hospital inpatient care General surgery	Bag Filters – Nonsupported (flexible) microfine fiberglass or synthetic media, 12 to 36 inches deep. Box Filters – Rigid style cartridge, 6 to 12 inches deep.
15	85-95	> 90	> 90	> 95			
14	75-85	> 90	> 90	90-95			
13	< 75	> 90	> 90	80-90			
12	—	> 80	> 90	70-75	1-3 μm Legionella Humidifier dust Lead dust Milled flour Auto emission particles Nebulizer drops	Superior residential Better commercial buildings Hospital laboratories	Pleated filters – Extended surface with cotton or polyester media or both, 1 to 6 inches thick. Box Filters – Rigid style cartridge, 6 to 12 inches deep.
11	—	65-80	> 85	60-65			
10	—	50-65	> 85	50-55			
9	—	< 50	> 85	40-45			
8	—	—	> 70	30-35	3-10 μm Mold Spores Dust mite body parts and droppings Cat and dog dander Hair spray Fabric protector Dusting aids Pudding mix Powdered milk	Better residential Commercial buildings Industrial workplaces	Pleated filters – Extended surface with cotton or polyester media or both, 1 to 6 inches thick. Cartridge filters – Viscous cube or pocket filters Throwaway – Synthetic media panel filters
7	—	—	50-70	25-30			
6**	—	—	35-50	< 20			
5	—	—	20-35	< 20			
4	—	—	< 20	< 20	> 10 μm Pollen Dust mites Cockroach body parts and droppings Spanish moss Sanding dust Spray paint dust Textile fibers Carpet fibers	Minimum filtration Residential window air conditioners	Throwaway – Fiberglass or synthetic media panel, 1 inch thick. Washable – Aluminum mesh, foam rubber panel Electrostatic – Self-charging (passive) woven polycarbonate panel
3	—	—	< 20	< 20			
2	—	—	< 20	< 20			
1	—	—	< 20	< 20			

Gambar 2.22. Minimum Efficiency Reporting Value (EPA,2009)

Material yang memiliki efek karsinogenik direkomendasikan menggunakan filter jenis HEPA atau *High Efficiency Particulate Air*. Penggunaan filter akan memberikan dampak penurunan tekanan pada aliran udara. Nazarious dkk (2020) menunjukkan grafik penurunan tekanan terhadap kecepatan udara pada filter HEPA yang ditunjukkan pada Gambar 2.22.



Gambar 2.23. Penurunan Tekanan terhadap Kecepatan Udara pada Filter HEPA (Nazarious, 2020)

Efisiensi pada sistem pengumpul debu dapat diukur dengan cara membandingkan jumlah debu yang masuk dan jumlah debu yang keluar seperti pada rumus berikut:

$$E = \frac{Q2}{Q1} \times 100\% \quad (2.8)$$

Dimana:

E = Efisiensi pengumpul debu (%)

Q1 = Jumlah debu yang masuk

Q2 = Jumlah debu yang keluar

2.2.4. Karakteristik Material Logam

Menurut Zainuri (2008) logam umumnya terbagi menjadi dua jenis yaitu logam besi (*ferrous*) dan logam bukan besi (*nonferrous*). Logam besi banyak dipakai sebagai bahan industri karena sifatnya yang bervariasi. Komponen dasar dari logam besi adalah bijih besi, bahan yang dapat ditemukan dalam perut bumi. Bijih besi tidak ditemukan dalam bentuk murni, melainkan harus dipisah dari bijih besi, mineral, dan batu endapan. Logam bukan besi juga banyak dipakai sebagai bahan industri. Aluminium menjadi logam bukan besi yang paling banyak digunakan karena memiliki sifat tahan terhadap korosi, penghantar listrik, dan ringan.

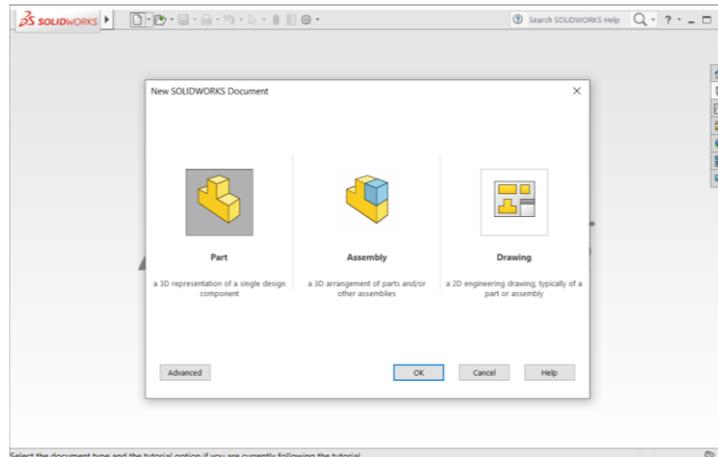
2.2.5. Solidworks

Solidworks merupakan salah satu perangkat lunak (*software*) *computer aided design* (CAD) yang dibuat oleh *Dassault Systemes*. *Applicad Indonesia* (2014) menyebutkan bahwa *solidworks* merupakan perangkat lunak untuk membantu proses desain suatu benda. *Software* ini dapat digunakan merancang *part* dalam tampilan 2D maupun 3D. Pada situs resmi *solidworks* juga menyebutkan *software* ini dapat digunakan untuk merancang desain kelistrikan, simulasi pada desain, analisis kekuatan, simulasi aliran udara, desain *mold& dies*, *computer aided manufacturing* (CAM), dan lain-lain. Pada Gambar 2.21. ditunjukkan versi *Solidworks 2017 premium*.



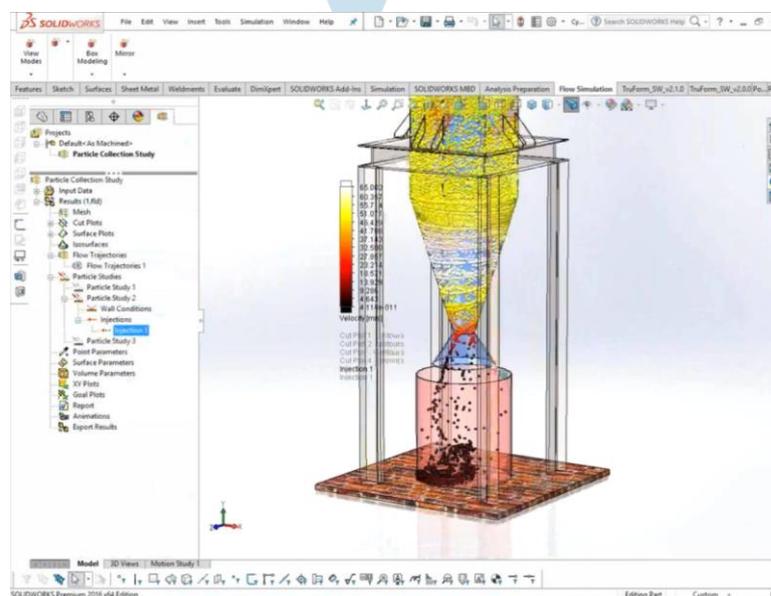
Gambar 2.24. Solidworks 2017 Premium

Tampilan pembuatan dokumen baru pada *solidworks* ditunjukkan pada Gambar 2.22. *Arsada* (2012) menjelaskan terdapat beberapa *template* utama pada pembuatan dokumen di *solidworks*, yaitu (1) *Part* merupakan *template* yang digunakan membuat objek 3 dimensi yang berupa *part* atau komponen tunggal dengan menggunakan beberapa fitur. (2) *Assembly* merupakan *template* untuk membuat gambar rakitan dengan menggabungkan beberapa *part* atau komponen. (3) *Drawing* merupakan *template* untuk membuat gambar kerja 2 dimensi dari suatu *part* maupun *assembly*.



Gambar 2.25. Tampilan Template Solidworks

Software Solidworks memiliki fitur berupa solidworks simulation yang merupakan suatu alat analisis untuk memprediksi perilaku fisik secara nyata pada suatu produk dengan menguji model CAD secara virtual. Raharjo (2020) menjelaskan solidworks menyediakan empat *tools* analisis diantaranya: Solidworks Simulation (FEA), Solidworks Motion, Solidworks Flow Simulation (CFD), dan Solidworks Plastics. Solidworks Flow Simulation membantu menganalisis berbagai permasalahan berkaitan dengan fluida seperti menentukan *pressure drop* dari suatu aliran tertutup, menentukan gaya hambat yang dialami suatu benda pada aliran eksternal, perpindahan panas karena aliran fluida, analisis komponen yang berotasi, analisis partikel, dll. Tampilan fitur pada Solidworks Flow Simulation ditunjukkan pada Gambar 2.23.



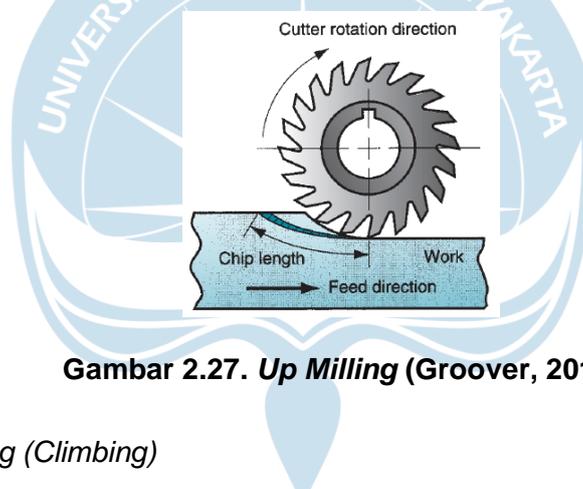
Gambar 2.26. Tampilan Solidworks Flow Simulation (Solidsolutions, 2016)

2.2.6. Karakteristik Alat Potong dan Tatal (*Chip*)

Menurut Groover (2010) pemesinan merupakan proses manufaktur dimana alat potong yang tajam digunakan untuk memotong material agar dihasilkan bentuk yang diinginkan. Potongan material dari alat potong tersebut dinamakan tatal atau *chip*. Pada proses *milling*, material dipotong dari benda kerja menggunakan alat potong yang berputar. Proses *milling* dibedakan menjadi dua jenis pemotongan yaitu *up milling* atau konvensional dan *down milling* atau *climbing*.

a. *Up milling* (konvensional)

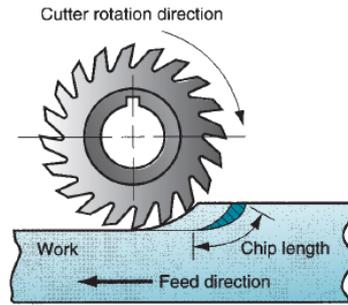
Pada pemotongan jenis ini putaran alat potong (*cutter*) memiliki arah berlawanan dengan gerak makan (*feeding*) pada meja mesin *milling*. Seperti pada Gambar 2.21 ditunjukkan alat potong berputar searah jarum jam, sedangkan gerak pemakanan ke arah kanan. Karakteristik bentuk tatal yang dihasilkan pada pemotongan ini diawali dengan ketebalan sangat tipis dan bertambah tebal. Sedangkan tatal yang dihasilkan lebih panjang dibandingkan dengan *down milling*.



Gambar 2.27. *Up Milling* (Groover, 2010)

b. *Down milling* (*Climbing*)

Pada pemotongan jenis ini putaran alat potong (*cutter*) memiliki arah yang sama dengan gerak makan (*feeding*) pada meja mesin *milling*. Seperti pada Gambar 2.22 ditunjukkan alat potong berputar searah jarum jam, sedangkan gerak pemakanan ke arah kanan. Karakteristik bentuk tatal yang dihasilkan pada pemotongan ini diawali dengan tatal yang tebal kemudian ketebalan menurun. Tatal yang dihasilkan berukuran lebih pendek dibandingkan dengan *up milling*. Ukuran tatal yang lebih pendek menunjukkan gesekan antara alat potong dan benda kerja yang lebih sedikit dan cenderung meningkatkan masa pakai alat potong.

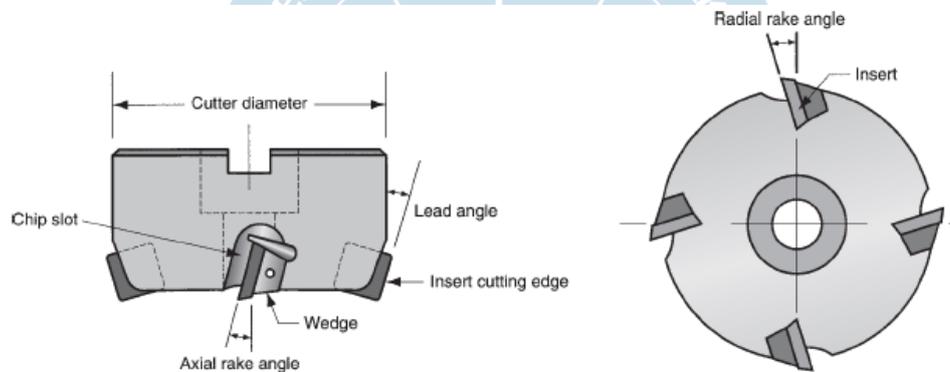


Gambar 2.28. Down Milling (Groover, 2010)

Menurut Stephenson dan Agapiou (2016) tipe alat potong *milling* dibedakan menjadi beberapa jenis menurut operasinya yaitu *face milling cutters*, *slot milling cutters*, dan *end milling cutters*.

a. *Face milling cutters*

Alat potong tipe ini digunakan untuk menghasilkan permukaan yang rata. Gambar 2.23. ditunjukkan desain alat potong tipe ini.



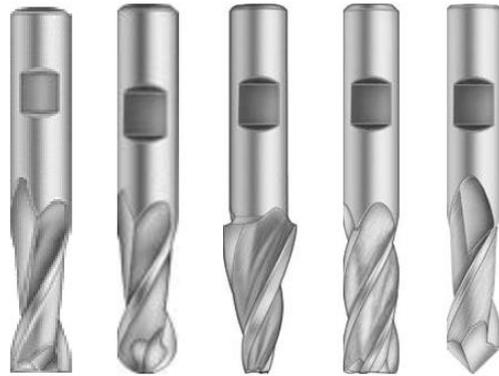
Gambar 2.29. Face Milling Cutters (Groover, 2010)

b. *Slot milling cutters*

Tipe ini digunakan untuk *grooving*, *slotting*, *side milling* dan *face milling*.

c. *End milling cutters*.

Pada alat potong jenis ini memiliki sisi potong di ujung dan disamping sehingga dapat mengerjakan dua permukaan benda pada saat yang sama. tipe ini biasanya digunakan untuk *face milling*, *slotting*, profil 2D atau 3D, *slabbing*, *shoulder cutting*, *chamfering*, dan *pocketing*. Terdapat beberapa macam jenis *end mill cutter* antara lain: *flat end mill*, *ball end mill*, *tapered end mill*, *bull nose mill*, *drilling end mill*, dll seperti ditunjukkan pada Gambar 2.24.



Flat-end Ball-end Tapered-end Bull nose Drillin-end

Gambar 2.30. Contoh Jenis *End Mill Cutter* (Sejahtera, 2019)

2.2.7. Volume Total (*Chip*)

Menurut López de Lacalle dkk (2011) jumlah pengurangan material setiap satuan waktu (*material removal rate*) pada pemesinan *milling* dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut.

$$Q \text{ per minute} = a_p \times a_e \times v_f \tag{2.9}$$

$$Q \text{ per tooth} = \frac{Q \text{ per minute}}{n \times Z_{\text{eff}}} \tag{2.10}$$

Dimana:

Q per minute = *Material Removal Rate* (mm³/min)

Q per tooth = *Material Removal Rate* (mm³/tooth)

a_p = *Axial depth of cut* (mm)

a_e = *Radial depth of cut* (mm)

v_f = *Feed rate* (mm/min)

n = *Spindle speed* (rpm)

Z_{eff} = *Face effective cutting edge count*