

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Produktivitas

##### 2.1.1. Pengertian Produktivitas

Produktivitas sangat berkaitan erat dengan hasil kerja seseorang. Produktivitas merupakan suatu kombinasi dari efektivitas dan efisiensi, sehingga produktivitas dapat diukur berdasarkan pengukuran berikut (Gaspersz, 2000):  $\text{Produktivitas} = \text{Efektivitas} / \text{Efisiensi}$ .

Produktivitas adalah rasio dari apa yang diproduksi oleh suatu operasi dengan apa yang diperlukan untuk memproduksinya (Slack *et al.*, 2001:56). Sama seperti Reader dan Heizer (2002:14) yang menerangkan bahwa: "Produktivitas adalah perbandingan yang naik antara jumlah sumber daya yang dipakai (*input*) dengan jumlah barang dan jasa yang dihasilkan (*output*)".

Ada dua dimensi produktivitas menurut Umar (2004), yakni efektivitas dan efisiensi. Efektivitas yang dimaksudkan adalah "*doing the right thing*". Dimensi kedua yakni efisiensi: "*doing things right*". Oleh karena itu, produktivitas biasanya dicapai melalui efektivitas pencapaian tujuan dan efisiensi penggunaan sumber daya". Everet (2001) menambahkan unsur-unsur produktivitas terdiri dari tiga unsur penting, antara lain efisiensi, efektivitas, dan kualitas. Begitupun Herjanto (2007), menerangkan bahwa produktivitas dapat digunakan sebagai tolak ukur keberhasilan suatu industri atau usaha kecil dan menengah (UKM) dalam menghasilkan barang atau jasa, jika semakin tinggi perbandingannya, maka semakin tinggi produk yang dihasilkan.

Tidak berbeda jauh, Atmosoeparto (2001) menguraikan tentang pengertian produktivitas dalam dua sudut pandang yang berbeda. Dari pandangan filosofis, produktivitas kerja merupakan suatu sikap mental yang selalu berusaha meningkatkan kualitas kehidupan, dan mempunyai

pandangan bahwa “mutu kehidupan hari ini harus lebih baik daripada kemarin, dan hari esok harus lebih baik daripada hari ini”.

Berdasarkan uraian-uraian pengertian tentang produktivitas diatas, peneliti menarik kesimpulan dengan ringkas bahwa produktivitas merupakan perbandingan konkrit dari sesuatu yang dikeluarkan dengan yang diperoleh perusahaan berupa barang dan atau jasa apakah hal tersebut bisa mencapai standar atau target pekerjaan yang telah ditetapkan perusahaan. Jika mencapai atau bisa melebihi standar pekerjaan, maka artinya ada peningkatan produktivitas, sebaliknya jika yang dihasilkan tidak bisa memenuhi standar atau target maka ada penurunan produktivitas, sehingga perlu dilakukan evaluasi agar dapat diperbaiki.

### **2.1.2. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Produktivitas**

Menurut Sutrisno (2014), untuk mengukur produktivitas kerja dibutuhkan indikator, diantaranya adalah:

- 1) Kemampuan, artinya mempunyai kemampuan untuk melaksanakan tugas. Kemampuan seorang karyawan sangat bergantung pada keterampilan yang dimiliki serta profesionalisme mereka dalam bekerja. Hal ini memberikan energi untuk menyelesaikan tugas-tugas yang dibebankan kepada mereka.
- 2) Meningkatkan hasil yang dicapai. Hasil merupakan salah satu yang dapat dirasakan baik oleh yang mengerjakan maupun yang menikmati hasil pekerjaan tersebut.
- 3) Semangat kerja, ini merupakan bentuk usaha untuk lebih baik dari hari kemarin. Indikator ini dapat dilihat dari etos kerja dan hasil yang dicapai dalam satu hari kemudian dibandingkan dengan hari sebelumnya.
- 4) Pengembangan diri. Senantiasa mengembangkan diri untuk meningkatkan kemampuan kerja. Pengembangan diri dapat dilakukan dengan melihat tantangan dan harapan dengan apa yang akan dihadapi. Biasanya semakin kuat tantangannya, pengembangan diri mutlak

dilakukan. Begitu juga harapan untuk menjadi lebih baik pada gilirannya akan sangat berdampak pada keinginan karyawan untuk meningkatkan kemampuan.

- 5) Kualitas atau mutu. Ini merupakan hasil pekerjaan yang dapat menunjukkan kualitas kerja seorang pekerja. Meningkatkan kualitas bertujuan untuk memberikan hasil yang terbaik yang pada gilirannya akan sangat berguna bagi perusahaan dan dirinya sendiri.
- 6) Efisiensi. Hal ini dimaksudkan adalah perbandingan antara hasil yang dicapai dengan keseluruhan sumber daya yang digunakan. Apa yang masuk dan apa yang keluar merupakan aspek produktivitas yang memberikan pengaruh cukup signifikan.

Adapun produktivitas menurut Mangkunegara (2006), yaitu dapat diukur dengan mempertimbangkan beberapa faktor seperti:

- 1) Kualitas, yaitu mutu pekerjaan sebagai output yang dihasilkan.
- 2) Kuantitas, yaitu mencakup jumlah pekerjaan yang harus diselesaikan dalam kurun waktu yang ditentukan.
- 3) Ketepatan waktu, menyangkut tentang kesesuaian waktu yang telah direncanakan untuk menyelesaikan suatu pekerjaan.

## **2.2. Kinerja Bisnis**

Kinerja bisnis pada dasarnya merupakan pencapaian prestasi yang dapat dilihat dari hasil suatu organisasi bisnis pada periode waktu tertentu. Goyal (2001) menerangkan tentang kinerja *“Performance is: (1) the process or manner of performing, (2) a notable action or achievement, (3) the performing of a player other entertainment”*. Hasil kinerja pun kurang tepat apabila dinilai dari satu sisi atau dimensi saja. Kinerja menurut Jauch & Glueck (1988) dapat dilihat dari tingkat penjualan, tingkat keuntungan, pengembalian modal, tingkat *turnover* dan pangsa pasar yang diraihinya.

Para peneliti seperti Day & Wensley (1998); Jaworski & Kohli (1993) menyetujui bahwa pengukuran kinerja bisnis tidak hanya cukup menggunakan ukuran tunggal. Jaworski & Kohli

(1993) beserta Chang (1998) menemukan bahwa kinerja perusahaan diukur dari kinerja bisnis keseluruhan dibanding pada tahun sebelumnya dan kinerja keseluruhan dibanding dengan pesaing utamanya. Sedangkan oleh Slater & Narver (2000) menerangkan bahwa kinerja bisnis diukur dari profitabilitas dibandingkan dengan target yang telah ditetapkan.

Pengukuran kinerja adalah suatu metode dalam pengukuran pencapaian perusahaan dengan didasarkan pada target yang telah ditetapkan sebelumnya. Ini merupakan bagian dari tindakan pengendalian yang dapat membantu perusahaan dalam meningkatkan kinerja di masa yang akan datang selama mengidentifikasi kekurangan operasi atas kegiatan operasi dalam suatu periode untuk memiliki sistem pengukuran kinerja yang baik dan tepat sangatlah penting, terutama di dunia tanpa batas masa kini dimana perusahaan harus tetap kompetitif dan kuat secara keuangan (Hameed et al., 2004). Kinerja perusahaan merupakan akumulasi dari hasil aktivitas yang dilakukan dalam perusahaan itu sendiri. Kinerja juga didefinisikan sebagai keberhasilan personal dalam mewujudkan sasaran strategik di empat perspektif yaitu keuangan, *customer*, proses, serta pembelajaran dan pertumbuhan (Mulyadi, 2007).

Pengukuran kinerja bisnis dapat dilakukan melalui beberapa aspek berikut, yaitu dalam bidang keuangan, bidang operasional, bidang pemasaran, dan bidang sumber daya manusia. Dalam penelitian ini aspek yang akan dikaji hanya terbatas pada aspek sumber daya manusia dan operasi. Sebagai contoh, pada aspek operasi, perusahaan bisa mengetahui apakah teknologi AM bisa mempengaruhi kinerja perusahaan untuk lebih unggul dalam bersaing, lalu faktor apa saja yang mendorong kinerja AM. Semuanya kembali ke satu tujuan yaitu untuk meningkatkan keunggulan bersaing.

Dalam pengukuran kinerja terdapat dua perspektif yaitu *subjectives concept* dan *objective concept*. Pada budaya bisnis di Asia, informasi tentang kinerja perusahaan biasanya merupakan suatu rahasia perusahaan, sehingga perusahaan enggan memberikan data kinerjanya. Jaworski & Kohli (1993) membuktikan kuatnya hubungan antara pengukuran obyektif dan subjective

response. Banyak variasi dimensi yang digunakan dalam riset, adapun beberapa dimensi tersebut antara lain dikemukakan oleh Robinson (1990), Kaplan & Norton (1996), Walker & Ruekert (1987), dan Ranchod (2004). Walker & Ruekert (1987) mengemukakan tiga dimensi dalam pengukuran kinerja suatu perusahaan, yaitu *effectiveness*, *efficiency*, dan *adaptiveness*.

Menurut Ranchod (2004) efektivitas, efisiensi, dan adaptivitas merupakan tiga atribut pemasaran utama yang digunakan dalam pengukuran kinerja. Adapun variabel anteseden dalam studi ini berkaitan dengan strategi pemasaran, maka ketiga dimensi tersebut digunakan dalam pengukuran kinerja. Selain pertimbangan tersebut, dimensi pengukuran kinerja ini relatif banyak digunakan dalam pengukuran kinerja perusahaan kecil dan menengah (Pelhalm, 2000). Sedangkan Ranchod (2004) mengemukakan bahwa tiga dimensi tersebut merupakan kunci pengukuran kinerja yang saling melengkapi, sehingga harus diukur bersama.

### **2.3. Keunggulan Bersaing**

Ada tiga strategi yang dapat dilakukan perusahaan untuk memperoleh keunggulan bersaing, yaitu keunggulan biaya (*cost leadership*), diferensiasi dan fokus (Porter, 1985). Keunggulan bersaing ibarat jantung kinerja perusahaan dalam pasar bersaing. Keunggulan bersaing pada dasarnya tumbuh dari nilai atau manfaat yang diciptakan perusahaan bagi para konsumennya yang lebih dari biaya yang harus dikeluarkan perusahaan untuk menciptakannya. Bila perusahaan mampu menciptakan keunggulan melalui salah satu dari ketiga strategi generik tersebut, maka akan memperoleh keunggulan bersaing (Aaker, 1989). Strategi tetap berguna dalam naik turunnya dunia industri seperti pelanggan elektronik, televisi, fotografi, dll., (McGrath, 2013 dalam *Transient Advantage*).

Adapun keunggulan bersaing menurut Goyal (2001) adalah kemampuan suatu perusahaan untuk meraih keuntungan ekonomis di atas laba yang mampu diraih oleh pesaing di pasar dalam industri yang sama. Perusahaan yang memiliki keunggulan kompetitif senantiasa memiliki kemampuan dalam memahami perubahan struktur pasar dan mampu memilih strategi

pemasaran yang efektif. Keunggulan bersaing berkembang dari nilai yang mampu diciptakan oleh perusahaan bagi pelanggan atau pembeli.

Prakosa (2005:53) menerangkan tentang keunggulan bersaing yang dianggap sebagai keuntungan dari perusahaan yang melakukan kerjasama untuk berkompetisi lebih efektif dalam pasar. Strategi yang didesain bertujuan untuk mencapai keunggulan bersaing ketika tindakan-tindakan dalam suatu industri atau pasar menciptakan nilai ekonomi dan ketika beberapa perusahaan yang bersaing terlibat dalam tindakan serupa (Barney, 2010:9).

Keunggulan bersaing dianggap sebagai keuntungan dibanding kompetitor yang diperoleh dengan menawarkan nilai lebih pada konsumen dibanding penawaran kompetitor (Kotler et al., 2005:461). Keunggulan bersaing diharapkan mampu untuk mencapai laba sesuai rencana, meningkatkan pangsa pasar, meningkatkan kepuasan pelanggan, serta melanjutkan kelangsungan hidup suatu usaha (Saiman, 2014:128).

Perusahaan seharusnya mencari strategi yang paling bagus untuk mengeksploitasi karakteristik perusahaan dan keunikannya (Barney, 1997). Low sons (dalam Birdsall, 2004) juga mendukung keunggulan bersaing tapi hal ini bertentangan dengan pendapat Porter, 1985 (dalam Ferdinand, 2003) yaitu kemungkinan menciptakan keunggulan bersaing datang dari kegiatan operasional yang efektif. Keunggulan bersaing merupakan sebuah strategi menciptakan nilai untuk sebuah perusahaan dan tidak diterapkan oleh pesaing potensialnya.

Ada beberapa faktor yang diuraikan oleh Slack, Chambers & Johnson (2013:77) untuk mencapai keunggulan bersaing, diantaranya adalah harga rendah (*low price*), kualitas tinggi (*high quality*), pengiriman cepat (*fast delivery*), pengiriman yang dapat diandalkan (*reliable delivery*), produk inovatif (*innovative product*), berbagai macam produk dan layanan (*wide range of product and service*), dan kemampuan untuk mengubah waktu atau jumlah produk dan layanan (*the ability to change the timing or quantity of products and services*). Sejalan dengan itu, dihubungkan dengan produktivitas dan kinerja seperti pada gambar berikut:

Gambar 2.1. Hubungan antara faktor-faktor dalam bersaing dengan kinerja perusahaan.

Faktor Bersaing <i>jika pelanggan ingin..</i>		Kinerja Perusahaan <i>maka perusahaan membutuhkan..</i>
Harga rendah	—————→	Biaya
Berkualitas tinggi	—————→	Kualitas
Pengiriman cepat	—————→	Kecepatan
Pengiriman yang dapat diandalkan	—————→	Ketergantungan
Produk dan layanan yang inovatif	—————→	Fleksibilitas (produk/service)
Berbagai macam produk dan layanan	—————→	Fleksibilitas (campuran)
Mengubah waktu atau jumlah produk dari produk layanan	—————→	Fleksibilitas (volume dan atau pengiriman)

Sumber: Slack, Chambers & Johnson (2013:77)

#### 2.4. Hubungan antara Produktivitas dan Kinerja untuk Mencapai keunggulan Bersaing

Slack, Chambers & Johnson dalam bukunya yang berjudul *Operation Management* edisi ketujuh (2013) menjelaskan terdapat beberapa hal yang mungkin dilakukan oleh sebuah perusahaan untuk memuaskan pelanggan dan berkontribusi terhadap daya saing, diantaranya adalah : *Quality, Speed, Dependability, Flexibility, & Cost*.

Dibawah ini adalah uraian beserta alasan pentingnya kelima hal tersebut, diantaranya adalah:

##### a) Kualitas (*Quality*)

Kualitas dapat memberikan potensi untuk layanan dan produk yang lebih baik dan menghemat biaya. Keunggulan kualitas juga dimaksudkan untuk perusahaan melakukan hal-hal yang benar; yaitu, tidak membuat kesalahan, dan ingin memuaskan pelanggan dengan menyediakan barang dan layanan bebas dari kesalahan yang “cocok untuk tujuan

mereka” atau *zero waste* (Slack, Chambers, & Johnson, 2013:47). Dengan demikian, konsep *Zero Waste* sangat tepat diterapkan dalam hal ini.

b) Kecepatan (*Speed*)

Di dalam proses operasi dan produksi, kecepatan juga penting. Respons yang cepat terhadap pelanggan eksternal sangat terbantu dengan pengambilan keputusan yang cepat dan perpindahan material dan informasi yang cepat di dalam operasi. Kecepatan dapat memberikan potensi untuk pengiriman layanan dan produk yang lebih cepat dan menghemat biaya (Slack, Chambers, & Johnson, 2013:63).

c) Ketergantungan (*Dependability*)

Secara internal, ketergantungan dalam operasi meningkatkan keandalan operasional, sehingga menghemat waktu dan uang yang seharusnya diambil dalam menyelesaikan masalah keandalan dan juga memberikan stabilitas pada operasi. Sedangkan secara eksternal, ketergantungan adalah aspek penting dari layanan pelanggan (Slack, Chambers & Johnson, 2013:63).

d) Fleksibel (*Flexibility*)

Secara internal, fleksibilitas dapat membantu mempercepat waktu respons, menghemat waktu yang terbuang dalam pergantian, dan mempertahankan ketergantungan. Sedangkan secara eksternal, fleksibilitas bisa :

- Menghasilkan produk dan layanan baru (fleksibilitas produk / layanan)
- Menghasilkan berbagai atau campuran produk dan layanan (fleksibilitas campuran)
- Menghasilkan jumlah atau volume produk dan layanan yang berbeda (fleksibilitas volume);
- Menghasilkan produk dan layanan pada waktu yang berbeda (fleksibilitas pengiriman). (Slack, Chambers, & Johnson, 2013:63).

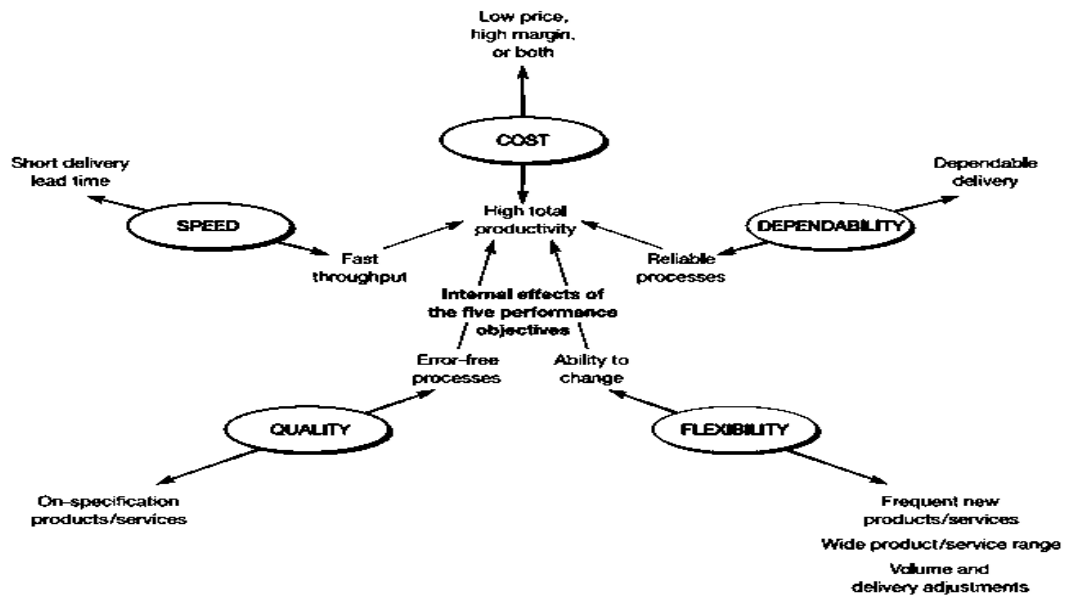


Dengan kata lain, fleksibilitas adalah cara perusahaan dalam beradaptasi dengan cepat sesuai kondisi di lapangan tanpa mengganggu kegiatan operasi lainnya tanpa membuang waktu dan kapasitas.

e) Biaya (*Cost*)

Secara eksternal, biaya rendah memungkinkan organisasi untuk mengurangi harga mereka untuk mendapatkan volume yang lebih tinggi atau, sebagai alternatif, meningkatkan profitabilitas mereka pada tingkat volume yang ada. Sedangkan secara internal, kinerja biaya dibantu oleh kinerja yang baik dalam tujuan kinerja lainnya (Slack, Chambers, & Johnson, 2013:63). Disisi lain, untuk mencapai sebuah hasil yang unggul dan bernilai lebih, tentu perusahaan membutuhkan inovasi dari produk yang sangat erat kaitannya dengan teknologi dalam pembuatannya. Teknologi canggih membutuhkan biaya yang tinggi juga. Biaya-biaya dalam perusahaan biasanya meliputi tenaga kerja, fasilitas, teknologi dan peralatan untuk perusahaan. Biaya tersebut dihabiskan untuk membeli, merawat, mengoperasikan dan mengganti perangkat keras, dll. Tidak mengherankan, biaya rendah adalah tujuan yang menarik secara *universal* (Slack, Chambers & Johnson, 2013:55).

Gambar 2.2. Hubungan produktivitas dan kinerja untuk mencapai keunggulan bersaing



Sumber: Operations Management 7<sup>th</sup> edition (Slack, Chambers & Johnson, 2013:58).

## 2.5. Teknologi

### 2.5.1. Definisi Teknologi

Pengertian teknologi dalam Kamus Besar Bahasa Indonesia: **tek.no.lo.gi /tèknologi/** yaitu : 1) metode ilmiah untuk mencapai tujuan praktis ; ilmu pengetahuan terapan, 2) keseluruhan sarana untuk menyediakan barang-barang yang diperlukan bagi kelangsungan dan kenyamanan hidup manusia.

Penggunaan istilah ‘teknologi’ dalam bahasa Inggris: *technology* telah berubah secara signifikan selama dua ratus tahun terakhir. Sebelum abad ke-20, istilah ini tidak umum dalam bahasa Inggris, dan biasanya mengacu pada penggambaran atau seni terapan penilaian.

Adapun pengertian teknologi menurut para ahli seperti diuraikan dibawah ini:

#### a) Menurut Sardar (1987)

Teknologi merupakan sarana untuk memecahkan masalah mendasar dari peradaban manusia. Tanpa penggunaan teknologi, maka ini akan menyebabkan banyak masalah tidak dapat diselesaikan dengan baik dan sempurna.

b) Menurut Djoyohadikusumo (1994)

Pengertian teknologi sebagai bidang yang berkaitan erat dengan ilmu pengetahuan dan ilmu teknik atau rekayasa. Pada dasarnya dapat disimpulkan bahwa teknologi dapat dikatakan memiliki dua dimensi, yaitu dimensi teknik dan ilmu pengetahuan dimensi.

c) Menurut Manuel Castells (2004)

Teknologi adalah kumpulan alat, aturan dan prosedur adalah penerapan pengetahuan ilmiah untuk pekerjaan tertentu dalam kondisi yang dapat memungkinkan pengulangan.

d) Menurut Miarso (2007)

Teknologi adalah suatu bentuk proses yang meningkatkan nilai tambah. Proses yang berjalan dapat menggunakan atau menghasilkan produk tertentu, di mana produk yang tidak terpisah dari produk lain yang sudah ada. Hal itu juga menyatakan bahwa teknologi merupakan bagian integral dari yang terkandung dalam sistem tertentu.

## **2.6. Perkembangan Teknologi Manufaktur**

Pada awal perkembangannya mesin ini (disebut mesin bubut) tidak dilengkapi dengan motor penggerak atau mesin penggerak. Pada saat itu satu sistem penggerak digunakan untuk banyak mesin. Pengaturan kecepatan spindel dilakukan dengan mengubah-ubah pasangan puli yang ada di spindel dan puli di poros penggerak. Baru pada tahun 1925, mesin ini dilengkapi dengan penggerak berupa motor listrik. Perubahan kecepatan putaran spindel juga dapat dilakukan dengan lebih mudah dengan mengubah pasangan roda gigi yang ada di kotak roda gigi (*gear box*). Sampai dengan saat itu, keterampilan operator sangat diperlukan terutama untuk membuat produk-produk kompleks yang memerlukan gerak pemakanan dalam dua arah (longitudinal dan transversal) secara bersamaan (Martawirya, 2000).

Pada tahun 1960 mulai diperkenalkan sistem copy hidrolik pada mesin bubut. Dengan adanya sistem ini pemegang pahat mampu melakukan gerak makan secara mekanik dalam arah longitudinal, sedangkan gerak makan dalam arah transversal digerakkan oleh penggerak sistem copy hidrolik, mengikuti template yang ada. Perkembangan selanjutnya mesin bubut dilengkapi dengan pengendali CNC (*Computerized Numerical Controller*), sehingga memungkinkan untuk pengendalian secara otomatis keseluruhan gerak spindel maupun pemegang. Terlihat bahwa dengan semakin berkembangnya konstruksi mesin bubut atau semakin meningkatnya otomasi pada mesin bubut, tuntutan pada keterampilan operator pada proses bubut menurun, tetapi tuntutan pada penguasaan tentang *set up*, sistem pemerkakasan, perawatan dan pengetahuan lain yang mendukung pada umumnya semakin meningkat.

Saat ini perkembangan teknologi manufaktur lebih tertuju pada pengembangan tingkat otomasinya. Pengembangan otomasi dalam teknologi manufaktur tersebut jika diamati, pada umumnya menuju ke salah satu dari dua arah berikut: menuju ke arah peningkatan ketelitian proses (geometri produk yang dihasilkan), atau menuju ke arah peningkatan fleksibilitas proses untuk menghadapi gangguan maupun untuk pengintegrasian sistem (Martawirya, 2000:3).

## **2.7. Teknologi Aditif Manufaktur (Additive Manufacturing Technology)**

Teknologi aditif manufaktur merupakan teknologi berkembang yang diluncurkan pada tahun 1980 (Kruth et al., 1998 dalam Gibson, 2015). Pendapat tambahan dikemukakan oleh Oettmeier & Hofmann (2016) bahwa AM diciptakan pada 1980-an dan sejak saat itu dominan digunakan untuk penumpukan cepat prototype ("rapid prototyping"). Namun, selama beberapa dekade terakhir, ada penggunaan yang meningkat dalam penggunaan teknologi AM untuk memproduksi bagian-bagian industri. Manufaktur aditif (AM) didefinisikan sebagai proses penggabungan bahan-bahan untuk membuat objek dari data 3D model, biasanya lapisan demi lapisan, sebagai lawan teknologi manufaktur subtraktif (ASTM-Standar-F2792), seperti mesin

tradisional. Teknologi baru ini telah disebut sebagai revolusi industri berikutnya (Hopkinson et al., 2006).

Manufaktur aditif memiliki banyak keunggulan dibandingkan manufaktur tradisional seperti optimasi topologi, geometris, kebebasan desain dan konsolidasi produk (Devine, 2019:23). Persamaan kata atau sinonim yang biasa digunakan untuk AM adalah "manufaktur cepat," "manufaktur digital," "manufaktur langsung," dan "manufaktur generatif" (Ebert et al., 2009; Holmström et al., 2010; Hopkinson dan Dickens, 2001; Vinodh et al., 2009). Menurut Wohlers Associates (2014) (sebuah perusahaan konsultan yang khusus menyediakan informasi industri tentang pasar AM), 34,7% (US \$1,065 miliar) dari pasar dunia untuk produk dan layanan AM pada 2013 terkait dengan industri manufaktur, dan pada tahun 2003, pangsa ini hanya sebesar 3,9% dari pasar AM global.

Gibson *et al.*, (2010) mendefinisikan delapan tahap kunci dalam proses generik AM, diantaranya yaitu : 1) *Conceptualization and CAD*, 2) *Conversion to STL/AMF*, 3) *Transfer to AM Machine and STL File Manipulation*, 4) *Machine Setup*, 5) *Build*, 6) *Removal and Cleanup*, 7) *Post-Processing*, dan 8) *Application*.

Holmstrom *et al.* (2010) menyarankan produksi AM mengarah pada manfaat seperti:

- Tidak diperlukan perkakas yang secara signifikan mengurangi waktu dan biaya dalam peningkatan produksi
- Batch produksi kecil layak dan ekonomis
- Kemungkinan untuk dengan cepat mengubah desain
- Mengizinkan produk dioptimalkan
- Mengizinkan produk khusus ekonomis (*batch of one*)
- Kemungkinan untuk mengurangi limbah
- Potensi rantai pasokan yang lebih sederhana; waktu memimpin lebih pendek, persediaan lebih rendah

- Kustomisasi desain.

### 2.7.1. Kategori Teknologi Aditif Manufaktur

Secara garis besar, teknologi AM dibagi dalam tiga kategori yaitu: *RP (Rapid Prototyping)*, *RM (Rapid Manufacturing)* dan *RT (Rapid Tooling)* (Achillas, 2014).

#### 2.7.1.1. Rapid Prototyping

Menurut Touri, Saadati, Ramakrishna & Mozafari (2019), *Rapid Prototyping* atau RP merupakan proses pembuatan lapis demi lapis yang secara langsung menerjemahkan data komputer seperti *Computer Aided Design (CAD)*, *Computer Tomography (CT)*, dan *Magnetic Resonance Imaging (MRI)* menjadi objek tiga dimensi (3D). Menurut Adrian Bowyer (2011), difusi mesin prototyping cepat open-source "akan memungkinkan kepemilikan revolusioner, oleh proletariat, dari alat-alat produksi". Rapid prototyping juga merupakan proses pembentukan benda dari data 3D berupa layer/lapisan, sebagai kebalikan dari proses manufaktur yaitu mengurangi bagian-bagian yang tidak diperlukan (Bourell, 2009). Sistem RP diklasifikasikan secara luas menjadi tiga kategori yaitu berbasis cairan, padat, dan berbasis bubuk tergantung pada bentuk awal materialnya yang dapat berupa seperti berbagai polimer, keramik dan logam serta komposit. Lu (2015), mengatakan teknologi rapid prototyping menjadi teknologi yang bernilai untuk industri manufaktur. Karena dengan teknologi RP ini dapat mewujudkan 5 "any": *any material, any part, any quantity, any location* dan *any industrial field*.

Dengan demikian, Rapid Prototyping (RP) dapat disimpulkan sebagai metode-metode yang digunakan untuk membuat model berskala (prototipe) dari mulai bagian suatu produk atau perbagian ataupun rakitan produk secara cepat dengan menggunakan data *Computer Aided Design (CAD)* tiga dimensi. Rapid Prototyping

memungkinkan visualisasi suatu gambar tiga dimensi menjadi benda tiga dimensi asli yang mempunyai volume.

Beberapa metode Rapid Prototyping yang berkembang saat ini adalah:

- 1) Stereolithography (SLA)
- 2) Selective Laser Sintering (SLS)
- 3) Laminated Object Manufacturing (LOM)
- 4) Fused Deposition Modelling (FDM)

Dari sekian banyak produksi mesin yang menggunakan teknologi rapid prototyping, pasti didalamnya menggunakan salah satu metode SLA, Laminated Object Manufacturing, SLS (Selective Laser Sintering), Fused Deposition Modelling (FDM), Solid Ground Curing (SGC), dan 3D ink jet printing (Mahindru, 2013).

Ada beberapa alasan mengapa rapid prototyping sangat diperlukan dalam dunia industri menurut Lubis (2017) yaitu:

- 1) Meningkatkan efektifitas komunikasi di lingkungan industri atau dengan konsumen.
- 2) Mengurangi kesalahan-kesalahan produksi yang mengakibatkan membesarnya biaya produksi.
- 3) Mengurangi waktu pengembangan produk.
- 4) Meminimalisasi perubahan-perubahan mendasar.
- 5) Memperpanjang jangka pakai produk misalnya dengan menambahkan beberapa komponen fitur atau mengurangi fitur-fitur yang tidak diperlukan dalam desain.

#### 2.7.1.2. *Rapid Manufacturing*

*Rapid Manufacturing* (RM) telah berevolusi melalui *Rapid Prototyping* (RP) karena kemajuan teknologi yang didefinisikan oleh Ridgley sebagai "pembuatan produk

akhir yang menggunakan teknik manufaktur tambahan (pencetakan padat)" (Achilles, 2014). Pada dasarnya, RM memproduksi produk berkualitas tinggi dengan biaya rendah. RM yang dilakukan dalam produksi batch paralel memiliki keuntungan besar dalam kecepatan, biaya, dan kualitas dibandingkan teknik pembuatan alternatif seperti ablasi laser atau *die casting*. RM mengubah model biaya dalam rantai pasokan konvensional dan memiliki peran kunci dalam memproduksi dan memasok produk khusus yang hemat biaya. Akibatnya, popularitas RM tumbuh setiap hari. Menurut survei yang dilakukan oleh Wohlers Associates, aplikasi RM dalam proses aditif tumbuh dari 3,9% pada tahun 2003 menjadi 6,6% pada tahun 2004 dan 8,2% pada tahun 2005 (Asiabanpour et al., 2009).

Lebih lanjut, Asiabanpour et al., (2009) memaparkan beberapa keuntungan dari teknologi RM seperti:

- 1) Kompleksitas desain;

Dimungkinkan untuk membuat bagian-bagian dari hampir semua kompleksitas geometris tanpa biaya tambahan sementara dalam setiap teknik manufaktur konvensional ada hubungan langsung antara kompleksitas desain dan biaya produksinya. Oleh sebab itu, untuk volume komponen tertentu, dimungkinkan untuk mendapatkan geometri (atau kompleksitas) untuk "gratis," karena biaya yang dikeluarkan untuk setiap teknik pembuatan aditif yang diberikan biasanya ditentukan oleh waktu yang dibutuhkan untuk membangun volume bagian tertentu, yang pada gilirannya, ditentukan oleh orientasi bahwa komponen tersebut dibangun.

- 2) Merancang kebebasan

Munculnya RM akan memiliki implikasi mendalam untuk cara di mana desainer bekerja. Secara umum, desainer telah diajarkan untuk mendesain objek yang



dapat dibuat dengan mudah dengan teknologi saat ini terutama karena keterbatasan geometri dari proses manufaktur yang tersedia. Untuk bagian yang dicetak, sudut konsep, ketebalan dinding konstan, lokasi garis perpecahan, dll. harus diperhitungkan dalam desain. Karena kemajuan dalam RM, geometri tidak akan lagi menjadi faktor pembatas dalam desain.

### 3) Paradigma desain baru

Dengan kemampuan RM saat ini, desainer industri dapat merancang dan membuat bagian-bagian tanpa perlu mempertimbangkan masalah seperti sudut draf dan ketebalan dinding konstan yang diperlukan untuk proses seperti cetakan injeksi.

#### 2.7.1.3. *Rapid Tooling*

*Rapid tooling* dianggap sebagai sub-kategori dari RM. *Rapid Tooling* menggambarkan proses yang merupakan hasil dari menggabungkan teknik Rapid Prototyping dengan praktik *tooling* konvensional untuk menghasilkan cetakan dengan cepat bagian dari data desain berbantuan komputer (CAD) dalam waktu lebih singkat dan dengan biaya yang relatif lebih rendah dibandingkan dengan metode permesinan tradisional, baik menggunakan model RP sebagai pola atau menggunakan proses RP secara langsung untuk membuat alat untuk volume prototipe yang terbatas.

### 2.7.2. **Kategori Proses Teknologi Aditif Manufaktur**

Januari 2012, Komite Internasional ASTM F42 telah menyetujui tujuh kategori proses AM atau mesin yang digunakan untuk memproduksi produk. Wohlers Associates (2014:28) mengurai tujuh kategori proses tersebut diantaranya adalah:

- 1) Vat Photopolymerization terdiri dari Stereolithography (SLA), dan Digital light processing (DLP)

- 2) Material Jetting terdiri dari Multi-Jet Modeling (MJM)
- 3) Material Extrusion terdiri dari Fused deposition modeling (FDM)
- 4) Powder Bed Fusion terdiri dari Electron beam melting (EBM), Selective laser sintering (SLS), Selective heat sintering (SHS), Direct metal laser sintering (DMLS)
- 5) Binder Jetting terdiri dari Powder bed and inkjet head 3D printing (PBIH), Plaster-based 3D printing (PP)
- 6) Sheet Lamination terdiri dari Laminated object manufacturing (LOM), Ultrasonic consolidation (UC)
- 7) Directed Energy Deposition terdiri dari Laser metal deposition (LMD)

Dari tujuh kategori proses diatas, ada tiga kategori proses yang paling umum digunakan, diantaranya adalah Material Extrusion, Vat Photopolymerization, dan Powder Bed Fusion.

## 2.8. Penelitian Terdahulu

No	Judul dan Penulis	Tujuan Penelitian	Metodologi Penelitian	Hasil Penelitian
1	<i>Impact of additive manufacturing on business competitiveness: a multiple case study;</i> Niaki, Mojtaba Khorram and Nonino, Fabio; 2016; Journal of Manufacturing	Untuk mengidentifikasi dampak dari penggunaan AM pada strategi bisnis dan kinerja bisnis serta faktor pendorong kinerja.	Studi eksplorasi dengan menggunakan metode studi kasus berganda. Sebanyak 16 perusahaan yang diteliti sebagai sampel dalam penelitian.	Hasil penelitian ditemukan bahwa penerapan AM dalam Rapid Manufacturing, produk yang terbuat dari bahan dasar logam telah mendorong produktivitas. Temuan ini juga mengungkapkan bahwa peningkatan daya saing pada UKM pengadopsi awal yang menggunakan RM.

	Technology Management Vol.28 No.1, pp. 56-74.			
2	<i>Research supporting principles for design for additive manufacturing: this paper provides a comprehensive review on current design principles and strategies for AM; Rosen, D. W.; 2014; Virtual and Physical Prototyping, Vol.9 No.4, pp. 225-232.</i>	Untuk mengeksplorasi berbagai prinsip yang relevan dengan DFAM (Design For Manufacturing Additive)	Menggunakan metodologi DFAM umum yang terdiri dari tiga langkah untuk mencapai fungsionalitas bagian dengan tetap mempertimbangkan detail proses manufaktur, termasuk fenomena fisik seperti orientasi bagian, optimasi fungsional dan mengoptimalkan rencana proses manufaktur dan jalur alat khusus.	Kemampuan AM untuk membuat desain geometris kompleks dengan menyediakan tingkat fleksibilitas atau kebebasan desain yang lebih besar.

3	<p><i>Additive layered manufacturing: sectors of industrial application shown through case studies;</i></p> <p>Petrovic, V., Gonzalez, J. V. H., Ferrando, O. J., Da Vinci, A. L.; 2011; International Journal of Production Research, Vol.49, No.4</p>	<p>Untuk meninjau teknologi ALM dan aplikasi ALM yang canggih dalam perkakas, biomedis dan struktur ringan untuk sektor otomotif dan dirgantara.</p>	<p>Dengan berbagai studi kasus dan manfaat yang dicapai ALM ditampilkan.</p>	<p>Dengan diperkenalkannya material baru dan prinsip aktif, teknologi ALM yang awalnya hanya digunakan untuk prototype dan modal kini telah diubah menjadi teknologi yang dapat membuat bagian fungsional yanaga sangat padat dengan nilai tambah yang tinggi.</p>
4	<p><i>Rapid manufacturing facilitated customization;</i></p> <p>Tuck, C. J., Hague R. J. M., Ruffo, M., Ransley M., And Adams, P; 2008; International</p>	<p>Untuk menunjukkan penggunaan baru teknik rekayasa terbalik digabungkan dengan teknologi manufaktur aditif untuk mempengaruhi</p>	<p>Penggunaan modularisasi telah digunakan secara khusus sebagai metode untuk meningkatkan variasi sambil berusaha mempertahankan skala ekonomi</p>	<p>Diakui RM sebagai sistem manufaktur generasi berikutnya (NGMS) yang mampu memenuhi produk yang semakin beragam dan dapat memproduksi volume yang lebih rendah.</p>

	Journal of Computer Integrated Manufacturing, Vol. 21, No. 3, 245 – 258	kenyamanan tempat duduk.	produk yang memungkinkan yang diproduksi secara massal.	
5	<i>Additive manufacturing: A framework for implementation;</i> Mellor, S., , Hao, L., Zhang, D.; 2013; International Journal of Production Economics	Untuk membangun dan menguji model struktural normatif faktor implementasi yang terkait dengan teknologi AM, rantai pasokan, organisasi, operasi dan strategi.	Dengan studi kasus untuk menyelidiki proses implementasi AM dan menguji kerangka penelitian. Riset implementasi memberikan panduan untuk mengidentifikasi orang yang cocok untuk diwawancarai. Mengidentifikasi empat konstituen paling kritis sebagai vendor teknologi, manajemen atas, insinyur proyek,	Tantangan dengan memahami desain baru untuk kendala manufaktur aditif dan mengubah budaya produksi tradisional memungkinkan akan lebih besar pengaruh pada keberhasilan implementasi.

			serta personel operasi dan pemeliharaan pabrik.	
6	<p><i>A web-based manufacturing service system for rapid product development;</i></p> <p>Lan, H., Ding, Y., Hong, J., Huang, H., &amp; Lu, B.; 2014; Computers in Industry, Vol. 54 No. 1, pp. 51-56.</p>	<p>Untuk mengusulkan sistem terintegrasi baru dari pengembangan produk cepat berdasarkan pembuatan prototype cepat dan mengembangkan sistem layanan manufaktur berjaringan yang menawarkan dukungan yang lebih baik untuk pengembangan produk yang cepat di perusahaan kecil dan menengah dengan memanfaatkan</p>	<p>Dengan solusi yang mendukung java, bersama dengan teknik web.</p>	<p>Solusi java digunakan untuk membangun sistem layanan manufaktur berjaringan berdasarkan mode browser/server tiga tingkat. Sistem layanan yang mencakup platform informasi teknologi, platform E-commerce, dan platform layanan manufaktur, menyediakan lingkungan kolaboratif produksi untuk penggunaan biro layanan, memungkinkan pembagian sumber daya manufaktur dan dapat secara efektif membantu pengembangan produk yang cepat dari usaha kecil dan menengah.</p>

		seungguhnya jaringan komputer dan informasi.		
--	--	--	--	--

