## 2. STUDI LITERATUR

### 2.1 Remanufaktur

Remanufaktur adalah pemulihan produk bekas ke kondisi seperti baru, dan memastikan karakteristik kinerja dan daya tahan produk setidaknya sama baiknya dengan produk baru. (Lund, 1985, p.1). Menurut Lund (1985), produk yang diremanufaktur dapat dibagi menjadi empat kategori pasar:

- Otomotif.

Jumlah terbesar dari produk yang diremanufaktur terkonsentrasi pada bisnis suku cadang untuk mobil dan truk. Suku cadang yang diremanufaktur sangat bervariasi mulai dari solenoid *starter* sederhana hingga mesin diesel secara keseluruhan. Remanufaktur dalam bidang otomotif adalah inovasi baru dan menjanjikan.

- Peralatan Industri

Kategori ini mencakup produk seperti *process valves, hydraulic equipment, heavy-duty diesel engines, production metalworking machinery,* dan *oil rig drilling equipment.* Produk di sektor ini sering dibuat secara khusus untuk aplikasi tertentu dan harus diproduksi ulang satu per satu.

- Produk Komersial

Produk komersial yang biasanya diremanufaktur adalah mesin kantor, kompresor pendingin, mesin penjual otomatis, dan peralatan komunikasi. Seperti halnya peralatan industri, produk yang komplek atau dibuat secara khusus cenderung diproduksi ulang satu per satu.

- Produk Residensial

Remanufaktur produk ini relatif jarang karena usia pakai produk yang panjang.

### 2.2 Karakteristik *Remanufacturable Products*

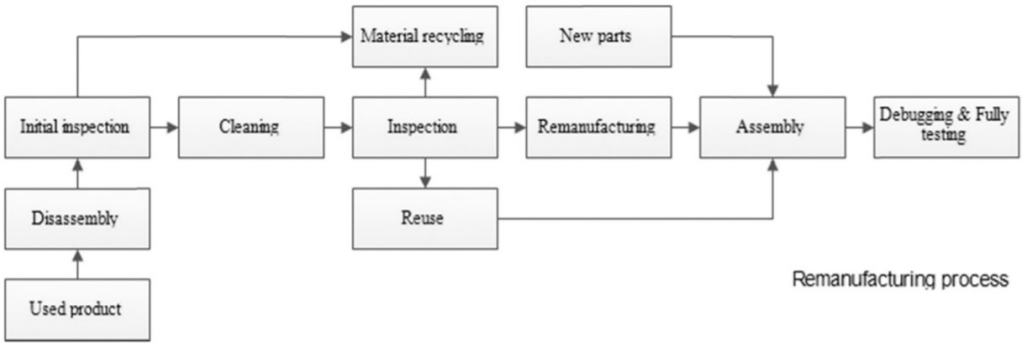
Menurut Barquet et al. (2013) dan Yang et al. (2018), produk yang dapat diremanufaktur mempunyai beberapa karakteristik:

- Produk memiliki komponen atau bagian yang dapat digunakan kembali.
- Ketersediaan pasokan barang untuk komponen atau bagian tersebut.
- Produk dapat dibongkar dan digunakan kembali sesuai dengan spesifikasi awal.
- Produk memiliki durabilitas yang tinggi dan mengandung komponen yang memiliki *value* yang tinggi.

- Siklus teknologi yang stabil dan lebih lama daripada siklus hidup produk tersebut.
- Teknologi untuk memulihkan produk tersebut tersedia.
- Produk memiliki potensi untuk disewakan ataupun sebagai produk jasa daripada sebagai perangkat keras.

Berdasarkan karakteristik tersebut menjelaskan bahwa 60% dari produk *remanufacturing* merupakan produk-produk seperti mesin pesawat terbang, otomotif, kendaraan alat berat (Yang, et al., 2018).

**2.3 Tahapan Remanufaktur**




Gambar 2.1 Tahapan remanufaktur

Sumber: Zhang, J. H., Yang, B., & Chen, M. (2017). Challenges of the development for automotive parts remanufacturing in China. *Journal of Cleaner Production, 140*(1), 1093.

Dalam melakukan remanufaktur terdapat beberapa tahapan yang perlu dilakukan sesuai dengan gambar 2.1. Tahapan pertama adalah proses pembongkaran, dimana setiap suku cadang akan dipisahkan dari *core*. Setelah proses pembongkaran, setiap suku cadang akan dilakukan pemeriksaan awal. Pemeriksaan awal ini bertujuan untuk memisahkan suku cadang yang tidak dapat melewati proses remanufaktur atau suku cadang yang akan dibuang. Contoh suku cadang yang akan dibuang adalah *oil seal* yang getas, stem seal, dan gasket yang rusak.

Suku cadang yang berhasil melewati pemeriksaan awal, akan dibersihkan dengan bahan kimia yang sesuai. Tahap ini juga termasuk pembersihan permukaan setiap suku cadang dengan berbagai cara. *Sandblasting*, *shot blasting*, dan *grinding* dapat digunakan untuk membersihkan permukaan suku cadang.

Setelah itu, suku cadang akan dilakukan pemeriksaan kembali. Pengukuran dan pengecekan keretakan akan dilakukan pada proses ini. Pemeriksaan kedua ini yang akan membagi suku cadang menjadi 3 golongan, yang terdiri dari:

- Suku cadang yang akan diganti. Suku cadang ini dirancang untuk dibuang dan akan menjadi limbah bagi perusahaan.
- Suku cadang dalam kondisi baik. Suku cadang ini tidak perlu dilakukan perbaikan dan hanya perlu dilakukan proses pembersihan.
- Suku cadang yang memerlukan perbaikan. Suku cadang ini perlu melewati proses remanufaktur untuk mengembalikan manfaatnya supaya dapat digunakan kembali.

Tahap selanjutnya adalah tahap perakitan. Pada tahap ini, suku cadang yang sudah selesai diremanufaktur dan suku cadang baru akan dicek kembali apakah sudah sesuai dengan spesifikasi pabrik. Setelah itu, setiap suku cadang akan dirakit kembali. Hasil dari perakitan ini yang akan dinamakan dengan produk remanufaktur. Setelah dilakukan perakitan kembali, produk akan masuk dalam tahap pengujian. Jika dalam tahap pengujian produk dinyatakan gagal, maka produk akan kembali dibongkar dan diinspeksi ulang (Dawson & Kubler, 2018).

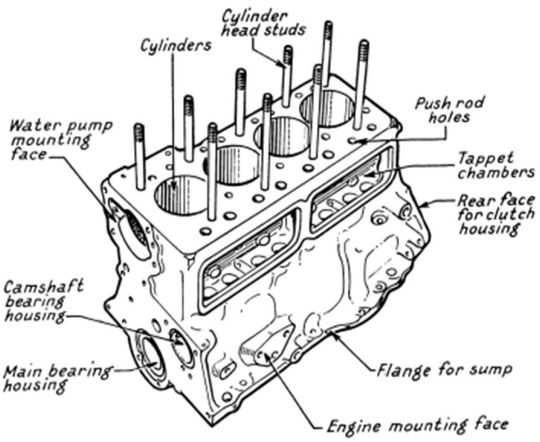
### 2.4 Remanufaktur Suku Cadang Otomotif

Pada umumnya, tidak semua komponen otomotif dapat dilakukan remanufaktur. Komponen otomotif dapat dibagi menjadi 2 kategori, yaitu tipe komponen sambungan dan komponen umum. Pada kebanyakan kasus, tipe komponen sambungan (contoh: *bearing, bushing, washer,* dan lain-lain) tidak dilakukan remanufaktur karena memiliki nilai yang relatif rendah. Tipe komponen umum seperti *shafts, gears,* dan *connecting rod* pada mesin kendaraan akan mengalami keausan yang cepat karena mengalami gesekan. Ketika komponen telah mengalami aus, maka komponen tersebut perlu direkondisi. Berdasarkan dari 2 kategori tersebut, hanya komponen umum yang dapat diklasifikasikan menjadi komponen yang layak dilakukan remanufaktur karena memiliki nilai yang tinggi.

### 2.5 *Part-part* Mesin yang Dapat Diremanufaktur

Tujuan dari mesin adalah untuk mengubah bahan bakar menjadi tenaga untuk menggerakkan kendaraan. Semua kendaraan menggunakan mesin pembakaran dalam. Alasan disebut mesin pembakaran dalam karena bahan bakar terbakar di dalam silinder mesin. Suku cadang yang terdapat di dalam mesin meliputi:

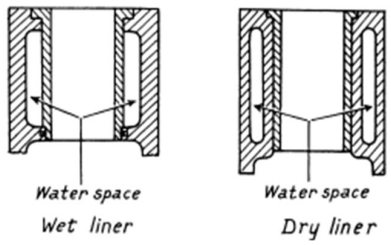
- *Cylinder Block* dan *Crankcase*




Gambar 2.2 *Cylinder block* dan *crankcase*

Sumber: Bacon, R.H. (1968). *The Car Engine and Structure.* The Macmillan Press.

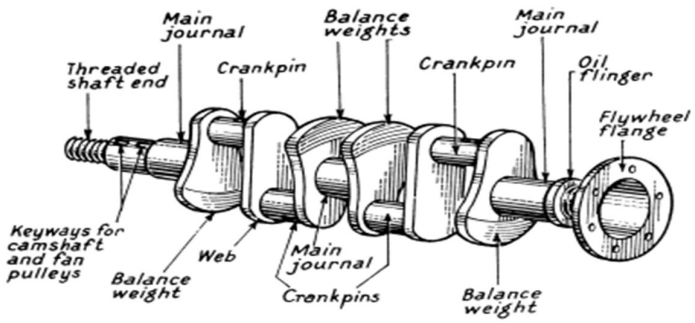
Awal mula mesin, *cylinder block* tidak terbuat menyatu dengan *crankcase.* Pada saat ini, *crankcase* terbuat menyatu dengan *cylinder block* dan juga terdapat *camshaft*, pompa air, pompa oli, dinamo, dan *starter. Cylinder block* biasanya terbuat dari besi cor. Pada mesin masa kini, kebanyakan menggunakan paduan *cast iron*, tetapi *block* dilakukan pengecoran dengan alumunium atau magnesium yang membuat *block* lebih ringan. Pada kasus ini, dan beberapa mesin dengan bahan besi cor, *cylinder liner* terbuat dari bahan yang jauh lebih tahan pakai, dan dipasang dengan cara di tekan pada *cylinder block*. Terdapat 2 macam *cylinder liner*, *cylinder liner* basah yang kontak langsung dengan pendingin dan *cylinder liner* kering. Ketebalan dinding *cylinder liner* basah lebih tebal dibandingkan dengan *cylinder liner* kering (Bacon, 1968).




Gambar 2.3 Wet liner vs dry liner

Sumber: Bacon, R.H. (1968). *The Car Engine and Structure.* The Macmillan Press.

- *Crankshaft*

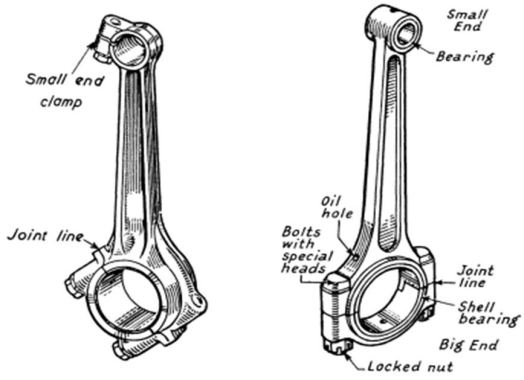



Gambar 2.4 *Crankshaft*

Sumber: Bacon, R.H. (1968). *The Car Engine and Structure.* The Macmillan Press.

*Crankshaft* digunakan untuk mengubah gerakan linier menjadi gerakan berputar. *Crankshaft* perlu dirancang dengan baik dan dibuat dengan kualitas material yang baik sehingga dapat menahan beban lentur, geser, dan memutar. Beban ini dapat berubah arah dan besaran ketika *crankshaft* berputar. Kebanyakan *crankshaft* dibuat dengan cara *drop forged steel* dengan kekuatan tarik sekitar 50 ton/$in^2$. Selain itu, *crankshaft* juga dapat dibuat dengan cara mengecor paduan besi yang menghasilkan *crankshaft* yang lebih ringan dan murah. *Balance Weights* memiliki peran yang penting karena akan mengambil momentum ketika piston turun dan momentum ini akan digunakan untuk mengembalikan piston ke posisi atas, sehingga proses pembakaran dapat terus berlanjut (Bacon, 1968).

- *Connecting Rod*



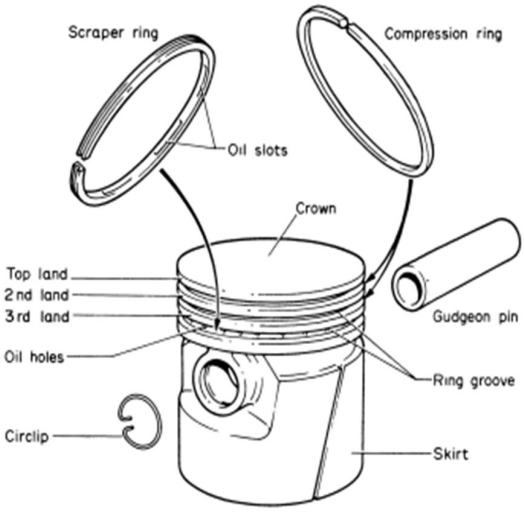

Gambar 2.5 *Connecting rod*

Sumber: Bacon, R.H. (1968). *The Car Engine and Structure.* The Macmillan Press.

*Connecting rod* yang menerima beban tekan, beban tarik dan beban lentur yang besar diproduksi dengan cara *drop forging*. Setiap *connecting rod* memiliki lubang kecil dibagian atas *big end,* yang memiliki fungsi supaya dapat melumasi bagian *crank pin* (Bacon, 1968).

- *Piston* dan *RIngs*

*Piston* memiliki bentuk umum yang sama, tetapi memiliki bentuk detail yang sangat bervariasi. *Piston* memiliki dua *rings* kompresi, satu *ring* kontrol oli, dan bos untuk *gudgeon* pin. Pada awalnya, piston terbuat dari besi cor atau baja untuk kecepatan lebih tinggi, dan saat ini banyak menggunakan paduan aluminium karena ekspansi yang rendah (Bacon, 1968).




Gambar 2.6 *Piston* dan *rings*

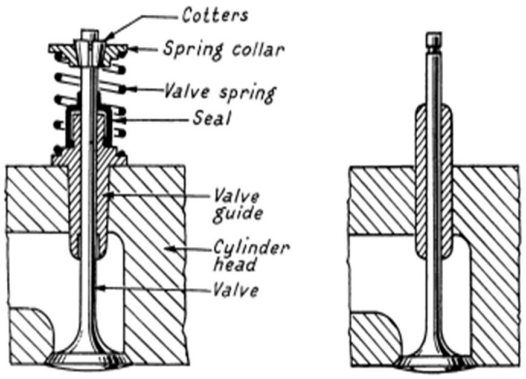
Sumber: Bacon, R.H. (1968). *The Car Engine and Structure.* The Macmillan Press.

- *Flywheel*

Seperti mesin empat langkah, hanya ada satu kali langkah pembakaran pada 2 putaran poros engkol, sehingga tenaga dan torsi yang dihasilkan piston sangat bervariasi selama siklus tersebut. Variasi ini yang dapat menyebabkan fluktuasi yang cukup besar pada kecepatan mesin jika hal ini tidak diredam. Hal inilah yang dilakukan *flywheel*, *flywheel* biasanya terbuat dari besi cor dan disambung dengan baut pada ujung *crankshaft*. Pada mesin berkecepatan tinggi, *flywheel* terbuat dari baja karena memiliki kekuatan tarik yang lebih besar dibandingkan dengan besi cor (Bacon, 1968).

- *Cylinder Head* dan *Valves*

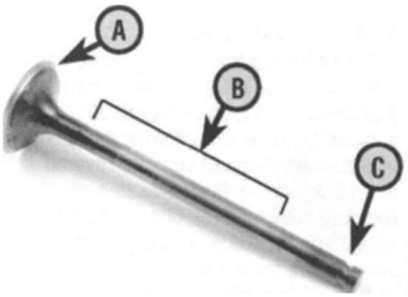
*Cylinder head* pada mesin saat ini terbuat dari besi cor, meskipun banyak juga yang terbuat dari alumunium. Desain *cylinder head* sangat penting, karena tata letak ruang bakar dan katup, juga kemampuan *cylinder head* untuk menghilangkan panas berlebih, membuat perbedaan besar pada efisiensi mesin (Bacon, 1968).




Gambar 2.7 *Cylinder head* dan *valves*

Sumber: Bacon, R.H. (1968). *The Car Engine and Structure.* The Macmillan Press.

Semua mesin 4 langkah menggunakan *valves*, lebih tepatnya dikenal dengan *poppet valves*. V*alves* ini yang akan mengatur waktu masuknya campuran bahan bakar serta udara dan keluarnya gas hasil pembakaran (*Motorcycle Basics Techbook*, n.d.).



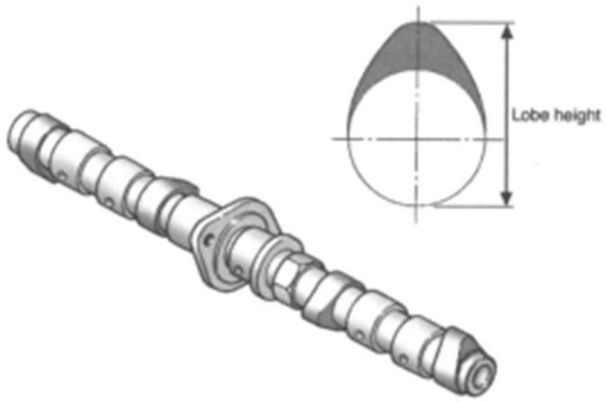

Gambar 2.8 *Valves*

Sumber: *Motorcycle Basics Techbook* (2nd ed.). (n.d.). Haynes Publishing.

a. *Valve Face*
b. *Valve Stem*
c. *Collet Groove*

- *Camshafts*

*Camshaft* dapat ditemukan pada semua mesin 4 langkah. Fungsi dari *camshaft* adalah untuk mengatur buka tutup valves pada siklus 4 langkah. *Camshaft* diatur untuk berputar setengah dari kecepatan *crankshaft*. Artinya ketika *camshaft* sudah menyelesai putaran pertama, *crankshaft* sudah menyelesaikan putaran kedua. *Lobes* pada *camshaft* berguna untuk menggerakkan *valves* naik turun sesuai dengan waktu yang sudah ditentukan (*Motorcycle Basics Techbook*, n.d.).

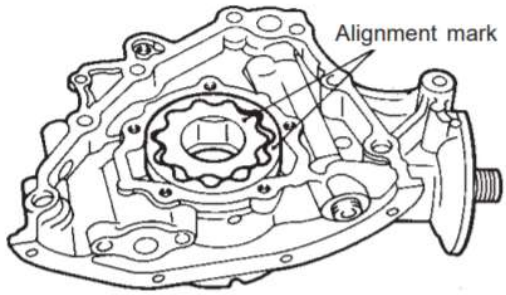



Gambar 2.9 *Camshaft*

Sumber: *Motorcycle Basics Techbook* (2nd ed.). (n.d.). Haynes Publishing.

- *Oil Pump*

  Fungsi bagian ini adalah sebagai pemberi tekanan pada oli mesin sehingga oli dapat bersirkulasi ke seluruh sistem pelumasan mesin. Pompa akan mengisap oli yang sudah terkumpul di bak penampungan untuk kemudian dipompa agar oli yang ada di jalur sistem pelumasan memiliki tekanan (Auto2000, 2021).




Gambar 2.10 Pompa oli

Sumber: *Workshop Manual Engine Supplement*. (2007). PT. Krama Yudha Tiga Berlian Motors.