



SMK NEGERI 2 DEPOK SLEMAN

RENCANA PELAKSANAAN PEMBELAJARAN

PARAMETER PEMOTONGAN MESIN

Tahun Ajaran 2025-2026



Disusun oleh

Eka Sri Darma

20250843912

PPG CALON GURU

**FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN
UNIVERSITAS SARJANAWIYATA TAMANSISWA**

2026

(DEEP LEARNING)

Satuan Pendidikan	SMK Negeri 2 Depok Sleman
Bidang Keahlian	Teknologi Manufaktur dan Rekayasa
Program Keahlian	Teknik Mesin
Konsentrasi Keahlian	Teknik Pemesinan
Tahun Ajaran	2025/2026
Semester	Genap
Mata Pelajaran	Teknik Pemesinan Lanjut
Fase/Kelas	Fase F/ Kelas XI
Alokasi Waktu	4 pertemuan \times 9 JP (@ 45 menit) = 36 JP total (8 JP Teori + 28 JP Praktik)
Elemen/ Topik	Parameter Pemotongan Mesin Bubut dan Mesin Frais
Identifikasi	<p>Karakteristik Murid:</p> <p>Hasil asesmen awal menunjukkan:</p> <ol style="list-style-type: none">1. Murid kelas XI SMK Teknik Pemesinan yang telah menempuh mata pelajaran Teknik Pemesinan Dasar di kelas X.2. Sebagian besar murid ($\pm 75\%$) mampu mengoperasikan mesin bubut dan frais untuk pekerjaan dasar, namun masih mengandalkan trial and error dalam menentukan parameter pemotongan.3. Kurang dari 30% murid dapat menyebutkan dan menghitung parameter pemotongan secara sistematis (V_c, n, f, ap).4. Murid memiliki motivasi tinggi terhadap pelajaran praktik, namun cenderung pasif saat sesi teori berlangsung.5. Gaya belajar dominan: kinestetik-visual (berdasarkan angket awal). Sebagian kecil murid memiliki kendala matematika dasar (terutama konversi satuan).6. Karakteristik khusus: beberapa murid memiliki pengalaman magang singkat di bengkel, sehingga memiliki pengetahuan empiris yang perlu dikaitkan dengan teori. <p>Materi Pelajaran:</p> <p>Analisis materi pelajaran:</p> <ol style="list-style-type: none">1. Jenis Pengetahuan: Pengetahuan konseptual (rumus dan prinsip parameter) + pengetahuan prosedural (cara menghitung dan menerapkan) + pengetahuan metakognitif (mengevaluasi pilihan parameter).2. Relevansi dengan Kehidupan Nyata: Parameter pemotongan adalah kompetensi inti teknisi pemesinan di industri manufaktur. Penguasaan materi ini langsung terkait dengan standar kerja industri (ISO 513, ANSI)

	<p>dan produktivitas bengkel.</p> <ol style="list-style-type: none"> 3. Tingkat Kesulitan: Menengah-tinggi. Menggabungkan kemampuan matematis (perhitungan V_c, n, f, f_z, vf), pemahaman material dan pahat, serta keterampilan motorik setting mesin. 4. Struktur Materi: Dimulai dari konsep dasar parameter bubut (lebih sederhana - 1 mata potong), lalu dikembangkan ke parameter frais (lebih kompleks - multi mata potong/gigi), kemudian diintegrasikan dalam proyek nyata. 5. Integrasi Nilai dan Karakter: ketelitian dalam perhitungan, tanggung jawab dalam keselamatan kerja (K3), efisiensi dan produktivitas, serta kolaborasi dalam tim bengkel.
	<p>Dimensi Profil Lulusan: Pilihlah dimensi profil lulusan yang akan dicapai dalam pembelajaran dengan centangan.</p>
	<p><input checked="" type="checkbox"/> DPL1 Keimanan dan Ketakwaan terhadap Tuhan YME</p> <p><input type="checkbox"/> DPL2 Kewargaan</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> DPL3 Penalaran Kritis</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> DPL4 Kreativitas</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> DPL5 Kolaborasi</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> DPL6 Kemandirian</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> DPL7 Kesehatan</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> DPL8 Komunikasi</p>
<p>Desain Pembelajaran</p>	<p>Capaian Pembelajaran: Pada akhir fase F, murid mampu memahami prinsip dan parameter pemotongan pada proses pemesinan (kecepatan potong, putaran spindle, gerak makan, kedalaman potong), menghitung parameter secara matematis menggunakan rumus standar, menentukan parameter optimal berdasarkan jenis material, geometri pahat, dan spesifikasi benda kerja, serta mengaplikasikan parameter tersebut dalam proses pembuatan produk pemesinan yang memenuhi spesifikasi teknis pada mesin bubut dan mesin frais.</p> <p>Lintas Disiplin Ilmu: Matematika, Bahasa Indonesia, Bahasa Inggris, IPAS, Informatika, Dasar-dasar Teknik Mesin, Gambar Teknik Manufaktur, Teknik Pemesinan Bubut, K3</p> <p>Tujuan Pembelajaran: Melalui pembelajaran ini, murid diharapkan dapat:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Menjelaskan pengertian, fungsi, dan saling keterkaitan parameter pemotongan (V_c, n, f, ap) pada mesin bubut dengan benar. 2. Menghitung parameter pemotongan mesin bubut menggunakan rumus standar: $n = (1000 \times V_c) / (\pi \times d)$, waktu pemesinan ($t_m$), dan MRR. 3. Menjelaskan pengertian dan fungsi parameter pemotongan mesin frais (V_c, n, f_z, vf, ap, ae) serta perbedaannya dengan parameter mesin bubut. 4. Menghitung parameter pemotongan mesin frais: f_z, $vf = f_z \times z \times n$, waktu pemesinan frais, dan MRR frais. 5. Menentukan parameter pemotongan yang optimal berdasarkan jenis material benda kerja, spesifikasi pahat (katalog), dan tuntutan kualitas benda kerja. 6. Mengaplikasikan parameter pemotongan yang telah dihitung dalam

	<p>proses pembuatan benda kerja kombinasi (operasi bubut + frais) sesuai gambar kerja.</p> <p>7. Menganalisis dan merefleksikan hubungan antara pilihan parameter dengan kualitas hasil pemesinan (dimensi, kekasaran permukaan, efisiensi waktu).</p>
	<p>Praktik Pedagogis : Model, Strategi, Pendekatan, dan Metode Pembelajaran:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Model Utama: Problem-Based Learning (PBL), siswa dihadapkan pada masalah nyata penentuan parameter untuk memotivasi inquiry mendalam. 2. Model Pendukung: Inquiry Learning, siswa mengeksplorasi pengaruh variasi parameter melalui eksperimen terkontrol (3 variasi parameter per mesin). 3. Pendekatan Pedagogis Among Tamansiswa: (a) Ing Ngarsa Sung Tuladha, guru sebagai teladan, mendemonstrasikan setting parameter yang benar; (b) Ing Madya Mangun Karsa, guru membimbing dan memotivasi di tengah proses praktik; (c) Tut Wuri Handayani, guru mendorong kemandirian penuh pada pertemuan 3 (proyek integrasi) dan 4 (asesmen). 4. Metode: demonstrasi, diskusi kelompok, praktik terbimbing, peer-teaching, presentasi, dan refleksi mandiri. 5. Prinsip Deep Learning yang diterapkan: berkesadaran (siswa memahami tujuan setiap langkah), bermakna (konteks dunia kerja nyata), dan menggembirakan (variasi aktivitas, kompetisi sehat antar kelompok).
	<p>Kemitraan Pembelajaran :</p> <ol style="list-style-type: none"> a. Guru mata pelajaran terkait. b. Kemitraan Antar Murid: Sistem kelompok praktik (3-4 murid/kelompok) Peer-assessment antar kelompok pada pertemuan 3. c. Penanggungjawab Bengkel. d. DUDIKA terkait e. Orang Tua murid
	<p>Lingkungan Pembelajaran:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Ruang Fisik: (a) Ruang Kelas Teori, untuk 2 JP teori setiap pertemuan; dilengkapi proyektor, whiteboard, dan papan display untuk hasil praktik. (b) Bengkel Pemesinan, untuk 7 JP praktik; mesin bubut konvensional (minimal 1 unit per 2 siswa), mesin frais vertikal (minimal 1 unit per 3 siswa), alat ukur (jangka sorong, mikrometer), APD lengkap. 2. Budaya Belajar: Iklim belajar yang aman (K3 diutamakan, zero-tolerance untuk bypass SOP), nyaman (siswa bebas bertanya dan berpendapat tanpa takut salah), dan saling memuliakan (peer-feedback dilakukan dengan etika positif, kesalahan diperlakukan sebagai kesempatan belajar, bukan bahan ejekan). 3. Ruang Virtual (Opsional): Penggunaan Google Drive dan Whatsapp Group untuk: distribusi materi presentasi dan lembar kerja, pengumpulan jurnal refleksi digital, dan komunikasi lanjutan di luar jam pelajaran.
	<p>Pemanfaatan digital :</p> <ol style="list-style-type: none"> a. Pembelajaran: Video, PPT, Youtube b. Asesmen: Google Form, Google Drive.
<p>Asesmen Pembelajaran</p>	<p>Asesmen dilaksanakan melalui tiga jenis: (1) Asesmen sebagai pembelajaran (assessment as learning) – menekankan penilaian diri dan sejawat; (2) Asesmen untuk pembelajaran (assessment for learning) – menekankan umpan balik formatif; (3) Asesmen hasil pembelajaran (assessment of learning) – mengukur</p>

ketercapaian tujuan pembelajaran.

Jenis Asesmen	Ranah	Teknik	Bentuk / Instrumen
Asesmen Awal (sebelum P1)	Pengetahuan awal & karakteristik siswa	Tes + Non-tes	Pre-test: 10 soal pilihan ganda & isian singkat parameter pemotongan; Angket gaya belajar dan minat
Asesmen Formatif – Assessment as Learning (P1 s/d P3)	Sikap (Dimensi Profil Lulusan)	Non-tes	Jurnal reflektif tiap akhir pertemuan; self-assessment lembar rencana kerja (P3); peer-assessment antar kelompok (P3); exit ticket setiap sesi teori
Asesmen Formatif – Assessment for Learning (P1 s/d P3)	Keterampilan proses	Non-tes + Alternatif	Observasi praktik menggunakan ceklis K3 & setting mesin; umpan balik langsung guru selama praktik; analisis tabel perbandingan 3 variasi parameter (LK terstruktur)
Asesmen Sumatif – Assessment of Learning (P4)	Kognitif + Keterampilan + Sikap	Tes + Non-tes + Kinerja	Post-test tertulis (hitungan + analisis kasus + esai, 90 menit); Unjuk kerja individual: membuat benda kerja dari gambar kerja baru secara mandiri (P4); Portofolio: kumpulan jurnal refleksi 4 pertemuan + lembar rencana kerja

RUBRIK PENILAIAN UNJUK KERJA (PERFORMANCE TASK)

Aspek Penilaian	Bobot	Indikator Kinerja
Ketepatan Perhitungan Parameter (Vc, n, f/fz, vf)	25%	Semua parameter dihitung dengan rumus benar, satuan tepat, hasil sesuai toleransi $\pm 5\%$ dari nilai teoritis
Kualitas Permukaan Benda Kerja	25%	Kekasaran permukaan (Ra) sesuai spesifikasi gambar kerja; tidak ada cacat bekas getaran, chatter, atau terbakar
Akurasi Dimensi Benda Kerja	20%	Semua dimensi utama berada dalam toleransi yang tertera pada gambar kerja (standar ISO: H7/g6 atau sesuai gambar)
Keselamatan & Kepatuhan SOP	15%	APD lengkap digunakan sepanjang waktu; prosedur setting mesin diikuti dengan benar; tidak ada pelanggaran K3
Refleksi & Jurnal Belajar	15%	Jurnal 4 pertemuan terisi lengkap; analisis mendalam dan jujur; terdapat koneksi antara teori, praktik, dan rencana pengembangan diri

PERTEMUAN KE-1 (9 X 45 MENIT)

Topik Pembelajaran:

PARAMETER PEMOTONGAN MESIN BUBUT

LANGKAH-LANGKAH PEMBELAJARAN

Alokasi Waktu

Pengalaman Belajar

AWAL (*Berkesadaran dan Bermakna*)

20 menit

- a. Guru membuka kelas dengan salam hangat, doa bersama, menanyakan kabar dan presensi kehadiran murid. (5 menit)

	<p>b. Hook & Motivasi: Guru menayangkan video pendek (3–4 menit) tentang kegagalan pemesinan nyata: pahat patah, benda kerja gosong, dimensi meleset akibat parameter yang salah. Guru mengajukan pertanyaan pemandu: 'Menurut kalian, apa yang menyebabkan ini bisa terjadi di industri?' Murid bebas berpendapat (tidak ada jawaban salah). (10 menit)</p> <p>c. Guru menyampaikan tujuan pembelajaran yang akan dicapai dan manfaatnya dalam kehidupan sehari-hari kepada murid, alur kegiatan (teori → praktik → analisis → refleksi), serta kaitannya langsung dengan kompetensi kerja seorang operator mesin / programmer CNC. (5 menit)</p>	
	INTI :	
	<p>Sintaks Model Pembelajaran PBL Tahap 1 Memahami (<i>Berkesadaran dan Bermakna</i>)</p> <p>1. Orientasi Masalah</p> <p>a. Pre-test Diagnostik: Murid mengerjakan 10 soal singkat (pilihan ganda + isian) untuk mengidentifikasi baseline pengetahuan tentang parameter pemotongan. Guru mengumpulkan dan menggunakannya untuk penyesuaian penjelasan. (15 menit)</p> <p>b. Guru menyajikan permasalahan nyata terkait kesalahan parameter pemotongan pada proses bubut/frais melalui video, gambar hasil cacat produk, atau studi kasus industri. (10 menit)</p> <p>c. Murid mengamati permasalahan dan mengidentifikasi kemungkinan penyebab terjadinya cacat hasil pemesinan</p> <p>d. Guru memandu diskusi awal melalui pertanyaan pemantik terkait hubungan parameter pemotongan dengan kualitas hasil kerja.</p> <p>e. Murid menyampaikan pendapat awal berdasarkan pengalaman praktik atau pengetahuan sebelumnya.</p> <p>f. Presentasi PPT Interaktif. Konsep Parameter Bubut: Guru menyajikan materi dengan pertanyaan-pertanyaan di tengah penjelasan: (a) Kecepatan potong V_c (m/min): definisi, pengaruh terhadap keausan pahat dan kualitas; (b) Putaran spindle n (rpm): rumus $n = (1000 \times V_c) / (\pi \times d)$, contoh hitungan; (c) Gerak makan f (mm/rev): pengaruh terhadap kekasaran permukaan R_a; (d) Kedalaman potong a_p (mm): pengaruh terhadap gaya potong dan getaran; (e) Waktu pemesinan $t_m = L / (f \times n)$; (f) Material Removal Rate $MRR = f \times a_p \times V_c \times 1000$. (35 menit)</p> <p>g. Latihan Soal Terbimbing: Murid mengerjakan 3 soal di lembar kerja (LK-1): (1) Hitung n jika $V_c=80$ m/min dan $d=30$ mm; (2) Hitung t_m jika $L=60$ mm, $f=0,2$ mm/rev, $n=850$ rpm; (3) Bandingkan MRR dua set parameter berbeda. Guru membahas bersama. (10 menit)</p> <p>h. Guru membimbing murid menyelesaikan latihan perhitungan parameter secara terbimbing.</p>	60 menit

Sintaks Model Pembelajaran PBL Tahap 2 & 3
Mengaplikasi (*Bermakna dan Menggembirakan*)

2. Mengorganisasikan Murid

- a. Briefing K3 & SOP Mesin Bubut: Guru memimpin pengecekan APD wajib (kacamata safety, sepatu safety, wearpack tertutup). Prosedur: cara menghidupkan mesin, memasang benda kerja di chuck, setting pahat center, mengatur putaran dan gerak makan sesuai tabel mesin. Murid menandatangani lembar ceklis K3. (30 menit)
- b. Guru membagi murid ke dalam kelompok kerja praktik dan menjelaskan tugas investigasi parameter pemotongan
- c. Murid berdiskusi menentukan strategi penyelesaian masalah dan pembagian tugas dalam kelompok.

**280
menit**

3. Membimbing Investigasi

- a. Demonstrasi Guru: Guru mendemonstrasikan secara langsung: membaca tabel pahat dari katalog, menentukan V_c dari data material (ST-37/mild steel), menghitung n dan mengatur tuas putaran mesin, setting gerak makan, eksekusi pembubutan lurus. Murid mengamati dan mencatat langkah-langkah. (30 menit)
- b. Praktik Terbimbing: 3 Variasi Parameter (Kelompok 3–4 murid): Benda kerja: Baja ST-37, $\varnothing 30$ mm \rightarrow $\varnothing 25$ mm \times 60 mm. Tiga set parameter: Set A (konservatif): $V_c=80$ m/min, $f=0,1$ mm/rev, $a_p=1,0$ mm; Set B (standar): $V_c=100$ m/min, $f=0,2$ mm/rev, $a_p=1,5$ mm; Set C (agresif): $V_c=120$ m/min, $f=0,3$ mm/rev, $a_p=2,0$ mm. Setiap murid bergilir sebagai operator. Data yang dicatat: waktu aktual, diameter akhir (jangka sorong), kualitas permukaan visual (halus/kasar/bekas chatter). Guru mengobservasi dan memberikan umpan balik langsung. (180 menit)
- c. Analisis Hasil Kelompok: Setiap kelompok mengisi tabel perbandingan 3 set parameter pada LK-2: kolom waktu aktual vs teoritis, deviasi dimensi, deskripsi kualitas permukaan. Kelompok mendiskusikan: set parameter mana yang paling optimal dan mengapa? (40 menit)
- d. Guru memfasilitasi murid melakukan analisis hubungan parameter terhadap hasil pemesinan.
- e. Murid mendiskusikan hasil investigasi kelompok dan menentukan parameter yang paling optimal.

Sintaks Model Pembelajaran PBL Tahap 4 & 5
Merefleksi (*Bermakna dan Menggembirakan*)

4. Mengembangkan dan Menyajikan Hasil

- a. Guru meminta setiap kelompok mempresentasikan hasil praktik dan analisis parameter yang telah dilakukan.
- b. Diskusi Kelas. Presentasi Temuan: Setiap kelompok

**30
menit**

	<p>mempresentasikan hasil analisis 3 variasi parameter (5 menit/kelompok, maksimal 3 kelompok presentasi). Guru memfasilitasi diskusi tentang: trade-off kualitas vs efisiensi, mengapa Set B 'standar' biasanya menjadi titik keseimbangan terbaik, dan kapan Set A atau Set C menjadi pilihan yang tepat. (20 menit)</p> <p>c. Murid memaparkan data hasil praktik, kendala yang muncul, serta alasan pemilihan parameter terbaik.</p> <p>5. Menganalisis dan Mengevaluasi</p> <p>a. Kelompok lain memberikan tanggapan, pertanyaan, dan saran terhadap hasil presentasi.</p> <p>b. Exit Ticket Individual: Murid mengisi kartu refleksi singkat: (1) 'Parameter yang menurut saya paling berpengaruh terhadap kualitas permukaan adalah... karena...'; (2) 'Hal yang masih membingungkan saya adalah...'; (3) 'Relevansi materi ini dengan karir saya di industri adalah...'. (10 menit)</p> <p>c. Guru memberikan penguatan konsep dan klarifikasi terhadap miskonsepsi yang muncul selama diskusi.</p> <p>d. Murid melakukan refleksi individu terkait pengalaman belajar, kesulitan yang dialami, dan strategi perbaikan.</p> <p>e. Guru bersama murid menyimpulkan hubungan parameter pemotongan dengan kualitas produk, efisiensi proses, dan keselamatan kerja.</p>	
	PENUTUP (<i>Berkesadaran, bermakna</i>)	15 menit
	<ol style="list-style-type: none"> 1. Guru bersama murid merangkum konsep utama: parameter pemotongan bubut (V_c, n, f, ap), keterkaitan antar parameter, dan pengaruhnya terhadap kualitas + efisiensi. (5 menit) 2. Murid menulis jurnal refleksi di buku jurnal masing-masing (tema: 'Apa yang saya pelajari hari ini? Apa yang berubah dari cara saya memandang pekerjaan operator mesin?'). (7 menit) 3. Guru menyampaikan preview pertemuan berikutnya (parameter mesin frais) dan memberikan tugas membaca: bahan katalog end mill dari Sandvik Coromant untuk dipelajari di rumah. (3 menit) 4. Guru mengakhiri pembelajaran dengan berdo'a dan salam (DPL 1) 	
PERTEMUAN KE-2 (9 X 45 MENIT)		
Topik Pembelajaran:		
PARAMETER PEMOTONGAN MESIN FRAIS		
LANGKAH-LANGKAH PEMBELAJARAN		Alokasi Waktu
Pengalaman Belajar	AWAL (<i>Berkesadaran dan Bermakna</i>)	15 menit

	<ul style="list-style-type: none"> a. Guru menyapa Murid dengan salam do'a bersama dan sapaan ramah untuk menciptakan suasana positif, berkesadaran dan bermakna. (DPL 1) b. Guru menanyakan kabar dan melakukan presensi kehadiran c. Guru mereview cepat materi pembelajaran pada pertemuan sebelumnya. d. Guru menyampaikan tujuan pembelajaran dan praktik yang akan dilaksanakan hari ini e. Kuis Lisan: Guru mengajukan 4 pertanyaan cepat secara acak kepada murid: (1) Sebutkan rumus menghitung n dari V_c! (2) Jika $V_c=100$ m/min dan $d=25$ mm, berapa n? (3) Apa pengaruh gerak makan f yang besar terhadap kualitas permukaan? (4) Apa yang terjadi jika ap terlalu besar untuk pahat yang digunakan? Guru merespons jawaban dengan umpan balik positif. 	
	INTI :	
	<p>Sintaks Model Pembelajaran PBL Tahap 1 Memahami (<i>Berkesadaran, Bermakna dan Menggembirakan</i>)</p> <p>1. Orientasi Masalah</p> <ul style="list-style-type: none"> a. Guru menyajikan permasalahan nyata terkait kesalahan parameter pemotongan pada proses bubut/frais melalui video, gambar hasil cacat produk, atau studi kasus industri. b. Murid mengamati permasalahan dan mengidentifikasi kemungkinan penyebab terjadinya cacat hasil pemesinan. c. Jembatan Konseptual (Bridging): Guru memulai dengan pertanyaan kritis: 'Frais memiliki banyak mata potong (gigi). Jika V_c dan n prinsipnya sama seperti bubut, lalu apa yang berbeda dan mengapa kita perlu parameter tambahan?' Diskusi interaktif 5 menit. (10 menit) d. Murid menyampaikan pendapat awal berdasarkan pengalaman praktik atau pengetahuan sebelumnya. e. Presentasi PPT: Konsep Parameter Frais: (a) V_c dan n: prinsip sama dengan bubut; d = diameter cutter; (b) Gerak makan per gigi f_z (mm/gigi): konsep unik frais karena multi-mata potong; (c) Kecepatan makan $v_f = f_z \times z \times n$ (mm/min), z = jumlah gigi cutter; (d) Kedalaman potong axial a_p (mm): kedalaman pemotongan arah vertikal; (e) Lebar pemotongan radial a_e (mm): lebar jalur pemotongan; (f) MRR frais = $a_e \times a_p \times v_f$ (mm³/min); (g) Waktu pemesinan frais $t_m = L / v_f$; (h) Perbedaan end mill vs face mill dan dampaknya pada parameter. (40 menit) f. Lembar Kerja LK-3: Perbandingan Bubut vs Frais: Murid mengerjakan 4 soal hitungan parameter frais (f_z, v_f, t_m) dan melengkapi tabel perbandingan sistematis antara rumus parameter bubut vs frais. Guru membahas bersama dan meluruskan miskonsepsi. (20 menit) g. Guru membimbing murid menyelesaikan latihan perhitungan parameter secara terbimbing 	70 menit

Sintaks Model Pembelajaran PBL Tahap 2 & 3

Mengaplikasi (*Berkesadaran, Bermakna dan Menggembirakan*)

2. Mengorganisasikan Murid

- a. Briefing K3 & SOP Mesin Frais. Perbedaan Kritis: Guru menekankan perbedaan K3 frais vs bubut: bahaya chip yang terbang (fly chip) lebih besar → kaca mata wajib, face shield disarankan; arah pemakanan (up milling vs down milling) dan implikasinya terhadap keselamatan; cara memasang end mill di chuck/collet dengan benar; prosedur mengunci meja frais sebelum memulai. Murid menandatangani lembar K3. (30 menit)
- b. Guru membagi murid ke dalam kelompok kerja praktik dan menjelaskan tugas investigasi parameter pemotongan.
- c. Murid berdiskusi menentukan strategi penyelesaian masalah dan pembagian tugas dalam kelompok.

3. Membimbing Insvestigasi

- a. Demonstrasi Guru: Setting mesin frais lengkap: pemasangan end mill $\varnothing 16$ mm 4-flute, setting titik nol koordinat (X, Y, Z referencing), mengatur table feed rate v_f , cara pemakanan yang benar (arah down milling diutamakan untuk material aluminium). (30 menit)
- b. Praktik Terbimbing: 3 Variasi Parameter (Kelompok): Benda kerja: Aluminium 6061, dimensi awal $80 \times 60 \times 20$ mm, tujuan pengefraisan rata menjadi tebal 17 mm ($a_p = 3$ mm). Tiga set parameter: Set A (konservatif): $V_c=100$ m/min, $f_z=0,05$ mm/gigi, $a_e=40$ mm; Set B (standar): $V_c=150$ m/min, $f_z=0,08$ mm/gigi, $a_e=50$ mm; Set C (agresif): $V_c=200$ m/min, $f_z=0,12$ mm/gigi, $a_e=60$ mm. Data yang dicatat: waktu aktual, ketebalan akhir (mikrometer), kualitas permukaan (visual + peraba). (180 menit)
- c. Guru membimbing, mengobservasi, dan memberikan umpan balik selama proses praktik berlangsung.
- d. Analisis Hasil Kelompok: Mengisi tabel perbandingan LK-4: waktu aktual vs teoritis, deviasi ketebalan, kualitas permukaan. Menghitung MRR aktual dan membandingkan antar set. Diskusi kelompok: mengidentifikasi pola pengaruh f_z dan v_f terhadap kualitas. (40 menit)
- e. Guru memfasilitasi murid melakukan analisis hubungan parameter terhadap hasil pemesinan.
- f. Murid mendiskusikan hasil investigasi kelompok dan menentukan parameter yang paling optimal.

**280
menit**

	<p>Sintaks Model Pembelajaran PBL Tahap 4 & 5 Merefleksi (<i>Berkesadaran, Bermakna dan Menggembirakan</i>)</p> <p>4. Mengembangkan dan Menyajikan Hasil</p> <ol style="list-style-type: none"> Guru meminta setiap kelompok mempresentasikan hasil praktik dan analisis parameter yang telah dilakukan. Diskusi Komparatif Bubut vs Frais: Setiap kelompok mempresentasikan tabel perbandingan parameter yang telah mereka buat. Diskusi dipandu guru: apa kesamaan dan perbedaan mendasar? Mengapa frais lebih kompleks? Dalam kondisi produksi apa kita akan memilih frais dibanding bubut? (20 menit) Murid memaparkan data hasil praktik, kendala yang muncul, serta alasan pemilihan parameter terbaik. <p>5. Menganalisis dan Mengevaluasi</p> <ol style="list-style-type: none"> Kelompok lain memberikan tanggapan, pertanyaan, dan saran terhadap hasil presentasi. Exit Ticket Reflektif: 'Perbedaan paling signifikan antara parameter bubut dan frais menurut saya adalah... karena...'; 'Hal yang paling mengejutkan dari hasil praktik hari ini adalah...'. (5 menit) Guru memberikan penguatan konsep dan klarifikasi terhadap miskonsepsi yang muncul selama diskusi. Murid melakukan refleksi individu terkait pengalaman belajar, kesulitan yang dialami, dan strategi perbaikan. Guru bersama murid menyimpulkan hubungan parameter pemotongan dengan kualitas produk, efisiensi proses, dan keselamatan kerja. 	<p>25 menit</p>
	<p>PENUTUP (<i>Berkesadaran, bermakna, dan menggembirakan</i>)</p>	<p>15 menit</p>
	<ol style="list-style-type: none"> Guru merangkum: parameter khas frais (fz, vf, ae), keterkaitan dengan n dan z, dan prinsip optimasi yang sama dengan bubut. (5 menit) Jurnal Refleksi: Murid menulis jurnal tentang koneksi yang ditemukan antara bubut dan frais, hal yang mengejutkan dari hasil percobaan, dan pertanyaan yang masih muncul di benak mereka. (7 menit) Preview P3: Guru menjelaskan bahwa pertemuan berikutnya murid akan menentukan parameter SENDIRI untuk membuat benda kerja nyata kombinasi bubut + frais. Tugas: masing-masing membawa sketsa atau bayangan benda yang ingin mereka buat (sebagai inspirasi). (3 menit) Guru mengakhiri pembelajaran dengan berdo'a dan salam (DPL 1) 	

PERTEMUAN KE-3 (9 X 45 MENIT)		
Topik Pembelajaran: OPTIMASI PARAMETER & PROYEK INTEGRASI BUBUT DAN FRAIS		
LANGKAH-LANGKAH PEMBELAJARAN		Alokasi Waktu
Pengalaman Belajar	AWAL (<i>Berkesadaran dan Bermakna</i>)	15 menit
	<ul style="list-style-type: none"> a. Guru menyapa Murid dengan salam do'a bersama dan sapaan ramah untuk menciptakan suasana positif, berkesadaran dan bermakna. (DPL 1) b. Apersepsi Kontekstual: Guru mengajukan skenario: 'Bayangkan kalian adalah teknisi CNC baru di sebuah pabrik. Atasan kalian memberikan gambar kerja benda yang belum pernah kalian buat sebelumnya, dan mengatakan: tentukan sendiri parameternya. Apa yang akan kalian lakukan pertama kali?' Siswa berdiskusi singkat dan berbagi jawaban. (5 menit) c. Guru menyampaikan tujuan pertemuan: hari ini siswa akan berperan sebagai engineer yang merencanakan dan mengeksekusi proses pemesinan secara mandiri. (5 menit) 	
	INTI :	
	<p>Sintaks Model Pembelajaran PBL Tahap 1 Memahami (<i>Berkesadaran dan Bermakna</i>)</p> <p>1. Orientasi Masalah</p> <ul style="list-style-type: none"> a. Guru menyajikan permasalahan nyata terkait kesalahan parameter pemotongan pada proses bubut/frais melalui video, gambar hasil cacat produk, atau studi kasus industri. b. Murid mengamati permasalahan dan mengidentifikasi kemungkinan penyebab terjadinya cacat hasil pemesinan. c. Mini-Lecture – Optimasi Parameter: Guru menjelaskan konsep 'segitiga optimasi pemesinan': (a) Kualitas (Ra, toleransi dimensi) vs (b) Produktivitas (waktu, MRR) vs (c) Umur Pahat (biaya tooling). Tidak ada satu set parameter yang 'terbaik' secara absolut – semua bergantung pada prioritas. (15 menit) d. Cara Membaca Katalog Pahat: Guru mendemonstrasikan cara membaca tabel rekomendasi dari katalog Sandvik Coromant dan Kennametal: kolom material, range Vc, range fz/f, dan catatan khusus. Siswa berlatih membaca katalog yang disediakan. (15 menit) e. Problem-Based Learning – Studi Kasus Industri: Guru membagikan 2 kasus nyata: KASUS A: Order 50 pcs poros baja Ø20 mm × 80 mm (material: S45C), toleransi ±0,05 mm, target waktu produksi 5 menit/pcs; KASUS B: Plat aluminium 100×80 mm, frais alur 8 mm × 8 mm × 50 mm, toleransi ±0,1 mm, kualitas permukaan Ra ≤ 1,6 µm. Kelompok berdiskusi: tentukan parameter optimal + justifikasi tertulis menggunakan katalog. 	65 menit

- (25 menit)
- f. Guru memandu diskusi awal melalui pertanyaan pemantik terkait hubungan parameter pemotongan dengan kualitas hasil kerja.
 - g. Presentasi 2 kelompok representative: Murid menyampaikan pendapat awal berdasarkan pengalaman praktik atau pengetahuan sebelumnya + klarifikasi guru atas miskonsepsi yang muncul. (10 menit)
 - h. Guru menjelaskan konsep dasar parameter pemotongan serta keterkaitannya dengan produktivitas, kualitas permukaan, dan umur pahat
 - i. Murid mencatat informasi penting dan bertanya terkait konsep yang belum dipahami.
 - j. Guru membimbing murid menyelesaikan latihan perhitungan parameter secara terbimbing.

Sintaks Model Pembelajaran PBL Tahap 2 & 3
Mengaplikasi (*Berkesadaran dan Bermakna*)

2. Mengorganisasikan Murid

- a. Guru membagi murid ke dalam kelompok kerja praktik dan menjelaskan tugas investigasi parameter pemotongan.
- b. Pengenalan Proyek Integrasi: Guru membagikan Gambar Kerja Proyek (Lampiran A) – benda kerja kombinasi: 'Poros Bertingkat dengan Alur Pasak' (membutuhkan operasi bubut bertingkat + frais alur). Siswa membaca gambar, mengidentifikasi operasi yang diperlukan, dan mencatat dimensi kritis. (15 menit)
- c. Murid berdiskusi menentukan strategi penyelesaian masalah dan pembagian tugas dalam kelompok.

3. Membimbing Investigasi

- a. Guru mendemonstrasikan penggunaan mesin, setting parameter, serta prosedur K3 yang benar
- b. Perencanaan Mandiri – Lembar Rencana Kerja (LRK): Setiap siswa/kelompok menyusun LRK secara mandiri yang mencakup: (a) Urutan operasi lengkap (setup, operasi 1, operasi 2, dst.); (b) Pilihan pahat setiap operasi (jenis, material, geometri); (c) Parameter setiap operasi: V_c , n , f (bubut) / f_z , v_f , a_e (frais), a_p ; (d) Perkiraan waktu total (t_m) setiap operasi; (e) Identifikasi risiko K3 dan pencegahannya. LRK harus diserahkan ke guru sebelum eksekusi dimulai. (45 menit)
- c. Murid melakukan praktik pemesinan menggunakan beberapa variasi parameter pemotongan sesuai lembar kerja.
- d. Review & Feedback Guru – Planning Gate: Guru memeriksa setiap LRK satu per satu, memberikan stempel 'APPROVED' jika aman dan valid, atau memberikan koreksi tertulis jika ada parameter yang membahayakan atau tidak realistis. Proses ini mensimulasikan 'planning gate' di industri manufaktur nyata – tidak boleh eksekusi sebelum rencana divalidasi. (30 menit)
- e. Eksekusi Proyek – Pembuatan Benda Kerja Kombinasi: Siswa mengeksekusi pembuatan benda kerja sesuai gambar kerja dan LRK yang telah disetujui. Guru melakukan observasi formatif

**285
menit**

	<p>(mengisi rubrik ceklis proses). ATURAN PENTING: siswa BOLEH mengubah parameter selama eksekusi, tetapi setiap perubahan harus dicatat dalam LRK beserta alasannya – ini melatih kemampuan adaptive decision making seperti engineer nyata. (195 menit)</p> <p>Sintaks Model Pembelajaran PBL Tahap 4 & 5 Merefleksi (<i>Berkesadaran dan Bermakna</i>)</p> <p>4. Mengembangkan dan Menyajikan Hasil</p> <ol style="list-style-type: none"> Guru meminta setiap kelompok mempresentasikan hasil praktik dan analisis parameter yang telah dilakukan Presentasi Kelompok (Giliran): Setiap kelompok mempresentasikan (7 menit/kelompok): parameter yang dipilih dan justifikasinya, hasil yang dicapai (dimensi, kualitas), kendala yang dihadapi, dan perubahan parameter yang dilakukan selama eksekusi beserta alasannya. (20 menit) <p>5. Menganalisis dan Mengevaluasi</p> <ol style="list-style-type: none"> Peer Feedback Terstruktur: Kelompok lain memberikan umpan balik menggunakan format 'I Like – I Wonder – What If: 'I like...' (satu hal yang mereka lakukan dengan baik), 'I wonder...' (satu pertanyaan tentang keputusan mereka), 'What if...' (satu saran alternatif). Format ini melatih komunikasi konstruktif yang profesional. (10 menit) Guru memberikan penguatan konsep dan klarifikasi terhadap miskonsepsi yang muncul selama diskusi. Murid melakukan refleksi individu terkait pengalaman belajar, kesulitan yang dialami, dan strategi perbaikan. Guru bersama murid menyimpulkan hubungan parameter pemotongan dengan kualitas produk, efisiensi proses, dan keselamatan kerja. 	<p>30 menit</p>
	<p>PENUTUP (<i>Berkesadaran, bermakna, dan menggembirakan</i>)</p>	<p>10 menit</p>
	<ol style="list-style-type: none"> Guru merefleksikan proses: 'Apa yang baru saja kalian lakukan: “merencanakan, mendapat review, mengeksekusi, menyesuaikan”, itulah yang dilakukan engineer dan teknisi CNC setiap hari di industri.' (3 menit) Jurnal Refleksi: Siswa menulis tentang: pengalaman merencanakan parameter secara mandiri (berbeda dari sebelumnya?), hal yang dipelajari dari perbedaan rencana dan kenyataan, strategi yang akan diterapkan saat asesmen di P4. (7 menit) Guru mengakhiri pembelajaran dengan berdo'a dan salam 	

PERTEMUAN KE-4 (9 X 45 MENIT)		
Topik Pembelajaran: ASESMEN UNJUK KERJA & REFLEKSI DEEP LEARNING		
LANGKAH-LANGKAH PEMBELAJARAN		Alokasi Waktu
Pengalaman Belajar	AWAL (<i>Berkesadaran dan Bermakna</i>)	15 menit
	<ul style="list-style-type: none"> a. Guru menyapa Murid dengan salam do'a bersama dan sapaan ramah untuk menciptakan suasana positif, Guru membangun suasana tenang dan percaya diri, berkesadaran dan bermakna. (DPL 1) b. Penjelasan Prosedur Asesmen: Guru menjelaskan rubrik penilaian, prosedur unjuk kerja, dan aturan yang harus dipahami: (a) Selama asesmen unjuk kerja, siswa TIDAK BOLEH bertanya kepada teman atau guru tentang parameter; (b) Semua keputusan parameter harus dicatat dalam LRK Mandiri yang disediakan; (c) Jika ada pertanyaan tentang prosedur K3 darurat, guru tetap dapat dihubungi; (d) Waktu unjuk kerja adalah terbatas – efisiensi perencanaan sangat penting. (10 menit) 	
	INTI :	
	[POST-TEST] Memahami (<i>Berkesadaran dan Bermakna</i>) Post-Test Tertulis Individual (75 menit): <ul style="list-style-type: none"> a. BAGIAN A – Hitungan (40%): 4 soal perhitungan parameter dari kasus pemesinan baru yang belum pernah dilihat sebelumnya. Contoh: 'Material: baja paduan AISI 4140, Vc rekomendasi=90 m/min, d=40 mm, f=0,15 mm/rev, ap=2 mm, L=120 mm. Hitung: n (rpm), tm (menit), dan MRR (mm³/min).' b. BAGIAN B – Analisis (35%): Siswa diberi data hasil pemesinan yang bermasalah (contoh: kualitas permukaan buruk Ra=6,3 μm, padahal spesifikasi Ra≤1,6 μm; dimensi benda meleset 0,3 mm). Siswa mengidentifikasi: parameter mana yang kemungkinan menjadi penyebab masalah, dan bagaimana solusi penyesuaian parameternya. c. BAGIAN C – Esai (25%): 'Jelaskan secara sistematis perbedaan dan persamaan parameter pemotongan mesin bubut dan mesin frais. Dalam situasi produksi seperti apa masing-masing proses lebih unggul? Berikan alasan teknis.' 	75 menit
[UNJUK KERJA] Mengaplikasi (<i>Berkesadaran dan Bermakna</i>) <ul style="list-style-type: none"> a. Distribusi Gambar Kerja Individual: Setiap siswa menerima gambar kerja benda kerja baru (berbeda dengan proyek P3 dan berbeda antar siswa). Siswa membaca gambar secara mandiri dan 	255 menit	

- mengidentifikasi semua operasi yang diperlukan. (15 menit)
- b. Perencanaan Mandiri – LRK Individual: Siswa menyusun LRK secara mandiri (tanpa bantuan siapapun): urutan operasi, pilihan pahat, semua parameter (V_c , n , f/z , a_p , a_e jika perlu), estimasi waktu per operasi. LRK diserahkan ke guru untuk dicatat (bukan dikoreksi – ini bagian dari asesmen). (30 menit)
 - c. Eksekusi Unjuk Kerja Individual: Siswa mengeksekusi pembuatan benda kerja di mesin bubut dan/atau frais sesuai gambar kerja dengan parameter yang telah direncanakan sendiri. Guru dan/atau penilai melakukan observasi penuh menggunakan rubrik asesmen (ceklis K3, ceklis proses, catatan kualitas kerja). Guru hanya mengintervensi jika ada bahaya K3 yang kritis. Siswa mengukur sendiri hasil akhir dan mencatat deviasi dimensi. (210 menit)

Sintaks Model Pembelajaran PBL Tahap 4 & 5
Merefleksi (*Berkesadaran dan Bermakna*)

4. Mengembangkan dan Menyajikan Hasil

- a. Refleksi Mendalam Individual (25 menit): Siswa menulis Esai Refleksi Akhir (1–1,5 halaman) dengan panduan pertanyaan: (a) 'Apa yang paling berubah dari cara saya berpikir tentang proses pemesinan setelah 4 pertemuan ini?' (b) 'Kesalahan terbesar yang pernah saya buat selama pembelajaran ini adalah... dan pelajaran yang saya ambil adalah...'. (c) 'Bagaimana saya akan menggunakan pemahaman tentang parameter pemotongan ini saat bekerja di industri nanti?' (d) 'Apa yang masih ingin saya pelajari lebih lanjut setelah ini?'
- b. Guru meminta setiap kelompok mempresentasikan hasil praktik dan analisis parameter yang telah dilakukan.
- c. Murid memaparkan data hasil praktik, kendala yang muncul, serta alasan pemilihan parameter terbaik.
- d. Sharing Pembelajaran (20 menit): 4–5 siswa secara sukarela berbagi refleksi di depan kelas (masing-masing 3–4 menit). Guru memfasilitasi diskusi tentang: pola common mistakes yang teridentifikasi selama 4 pertemuan, best practices yang ditemukan, dan learning journey dari 'trial and error' menuju 'evidence-based parameter decision'.

**45
menit**

5. Menganalisis dan Mengevaluasi

- a. Kelompok lain memberikan tanggapan, pertanyaan, dan saran terhadap hasil presentasi
- b. Guru memberikan penguatan konsep dan klarifikasi terhadap miskonsepsi yang muncul selama diskusi.
- c. Murid melakukan refleksi individu terkait pengalaman belajar, kesulitan yang dialami, dan strategi perbaikan.
- d. Guru bersama murid menyimpulkan hubungan parameter pemotongan dengan kualitas produk, efisiensi proses, dan keselamatan kerja.

	<p>PENUTUP (<i>Berkesadaran, bermakna, dan menggembirakan</i>)</p>	<p>15 menit</p>
	<ol style="list-style-type: none"> a. Umpan Balik Umum Guru (bukan nilai individual – disampaikan terpisah melalui rapor/LMS): Pola positif yang diamati selama 4 pertemuan, area yang perlu terus dikembangkan, dan apresiasi tulus atas proses belajar yang telah dilalui bersama. (7 menit) b. Rekap Learning Journey: Guru memvisualisasikan perjalanan belajar 4 pertemuan menggunakan diagram sederhana di papan: dari 'tidak tahu parameter' → 'memahami rumus' → 'bisa menghitung' → 'bisa mengaplikasikan' → 'bisa mengoptimasi' → 'bisa mentransfer ke situasi baru'. Ini adalah pencapaian nyata yang patut dirayakan. (5 menit) c. Rencana Tindak Lanjut: Guru menyampaikan jadwal remedial (bagi yang belum mencapai KKM), materi pengayaan (pengenalan parameter pemesinan CNC sebagai pengembangan), dan keterkaitan dengan materi semester berikutnya. (3 menit) d. Guru memberikan motivasi agar peserta didik terus mengembangkan keterampilan praktiknya. e. Guru menutup pembelajaran dengan pesan bahwa keterampilan akan berkembang melalui latihan dan pengalaman. 	
<p>REFLEKSI, REMEDIAL DAN PENGAYAAN, KOMPONEN PENDUKUNG, DAFTAR PUSTAKA</p>	<p>REFLEKSI GURU</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Apakah hook pada pertemuan 1 (video kegagalan pemesinan) berhasil membangkitkan rasa ingin tahu dan motivasi siswa? Apa yang perlu diperbaiki? Apakah model Project-Based Learning (PjBL) berjalan efektif? 2. Apakah alokasi 2 JP teori sudah cukup untuk membangun pemahaman konseptual sebelum praktik, atukah siswa masih kebingungan saat masuk ke praktik? 3. Kelompok mana yang paling aktif dan kolaboratif? Kelompok mana yang membutuhkan pendampingan lebih intensif? 4. Apakah proyek integrasi di P3 (LRK + planning gate) berhasil mensimulasikan proses kerja industri nyata? Perlu penyederhanaan atau justru pendalaman? 5. Bagaimana tingkat kemandirian siswa saat asesmen unjuk kerja P4 dibandingkan pertemuan 1? Apakah ada peningkatan yang signifikan? <p>REFLEKSI MURID/ SURVEI KEPADA GURU</p> <p>Pertanyaan survei yang diberikan kepada siswa di akhir P4:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 'Kegiatan pembelajaran mana yang paling membantu saya memahami materi parameter pemotongan?' (skala + isian) 2. 'Apakah guru memberikan penjelasan yang cukup jelas sebelum saya diminta berpraktik mandiri?' (skala 1–5) 3. 'Apakah saya merasa aman dan nyaman selama kegiatan di bengkel?' (ya/tidak + alasan) 4. 'Hal yang ingin saya sampaikan kepada guru untuk perbaikan pembelajaran berikutnya adalah...' (isian terbuka) 	

RENCANA REMEDIAL DAN PENGAYAAN

Uraian singkat

1. Program Remedial

Sasaran:

Peserta didik yang:

- belum mencapai kompetensi ($KKM = 75$)
- masih kesulitan dalam praktik atau konsep

Bentuk Kegiatan:

- Remedial Kognitif: Latihan soal perhitungan parameter tambahan dengan pendampingan guru; penjelasan ulang konsep yang masih lemah menggunakan pendekatan berbeda (simulasi visual/animasi).
- Remedial Keterampilan: Praktik ulang terbimbing dengan benda kerja yang lebih sederhana; pendampingan lebih intensif dari guru atau siswa yang sudah tuntas (peer-tutoring).
- Batas waktu remedial: maksimal 2 minggu setelah hasil asesmen diumumkan.

2. Program Pengayaan

Sasaran:

Peserta didik yang:

- sudah mencapai atau melampaui kompetensi ($KKM \geq 85$)
- memiliki kemampuan lebih cepat

Bentuk Kegiatan:

- Menghitung dan mensimulasikan parameter pemesinan CNC (G-code dasar untuk mesin CNC bubut/frais).
- Studi mandiri: pengaruh material pahat (HSS vs Carbide vs Ceramic) terhadap rekomendasi V_c yang berbeda
- Proyek mandiri: membuat benda kerja dengan toleransi ketat (IT6-IT7) dan mendokumentasikan proses pengambilan keputusan parameter sebagai portfolio.

Contoh Kegiatan:

- Menggunakan dividing head untuk pembagian lebih kompleks
- Mendesain variasi produk (custom mur)

KOMPONEN PENDUKUNG

1. Lampiran LKM

LK-1: Lembar Kerja Hitungan Parameter Bubut (soal latihan terbimbing P1)

LK-2: Lembar Kerja Hitungan Parameter Frais + Tabel Perbandingan Bubut vs Frais (P2)

LRK: Lembar Rencana Kerja Proyek Integrasi/ Worksheet (P3 dan P4)

Gambar Kerja Proyek : 'Stud Bolt'

2. Lampiran Instrumen asesmen

Instrumen Pre-Test

Instrumen Post-Test

Bahan Ajar: Ringkasan rumus parameter pemotongan bubut dan frais (student handout)

Media: File PPT Pertemuan 1–3, video referensi kegagalan pemesinan, ekstrak katalog pahat Sandvik Coromant

Daftar pustaka

1. Boothroyd, G., & Knight, W. A. (2006). *Fundamentals of Machining and Machine Tools* (3rd ed.). Boca Raton: CRC Press.
2. Sandvik Coromant. (2024). *Metal Cutting Technology – Technical Guide*. Sandviken: Sandvik AB. Tersedia di: www.sandvik.coromant.com
3. Sumbodo, W., dkk. (2020). *Teknik Produksi Mesin Industri Jilid 2*. Jakarta: Direktorat Pembinaan SMK.
4. Widarto, dkk. (2019). *Teknik Pemesinan*. Jakarta: Direktorat Pembinaan SMK, Kemdikbud.
5. Krar, S. F., Gill, A. R., & Smid, P. (2005). *Technology of Machine Tools* (6th ed.). New York: McGraw-Hill.
6. Badan Standardisasi Nasional. (2022). *SNI ISO 513: Klasifikasi dan Aplikasi Bahan Pahat Keras untuk Pemesinan dengan Mata Potong Geometri Terdefinisi*. Jakarta: BSN.
7. *Gunanto, A. & Pramono, J. (2019). Teknik Pemesinan Frais SMK/MAK Kelas XI. Yogyakarta: Andi.*
8. *Widarto. (2008). Teknik Pemesinan Jilid 1. Jakarta: Direktorat Pembinaan SMK.*

Yogyakarta, 17 April 2026

Mengetahui,
Kepala SMK Negeri 2 Depok Sleman

Mahasiswa PPG Calon Guru,

Dodot Yuliantoro, S.Pd., M.T.
NIP. 19670718 199501 1 001

Eka Sri Darma
NIM. 20250843912

Lampiran 1. Bahan Ajar